



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Instrumentación y Control Automático

Sistema de Monitoreo Móvil de la Calidad del Aire Utilizando Redes Vehiculares de Transporte.
Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencias en Instrumentación y Control Automático.

Presenta:

Ing. Francisco Eduardo Piña Barcenás.

Dirigido por:

Dr. Manuel Toledano Ayala.

<u>Dr. Manuel Toledano Ayala</u>	_____
Presidente	Firma
<u>Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa</u>	_____
Secretario	Firma
<u>Dr. Saúl Obregón Biosca</u>	_____
Vocal	Firma
<u>Dr. Marco Antonio Aceves Fernández</u>	_____
Suplente	Firma
<u>Dr. Edgar Rivas Araiza</u>	_____
Suplente	Firma
<u>Dr. Aurelio Domínguez González</u>	<u>Dr. Irineo Torres Pacheco</u>

Director de la Facultad

Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Mayo 2013

México



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Instrumentación y Control Automático

Sistema de monitoreo móvil de la calidad del aire utilizando redes vehiculares de transporte.

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:
Maestro en Ciencias en Instrumentación y Control Automático.

PRESENTA:


Francisco Eduardo Piña Bárcenas.

DIRIGIDO POR:

Dr. Manuel Toledano Ayala.

Dr. Manuel Toledano Ayala

Presidente


Firma

Dr. Genaro Martín Soto Zarazúa

Secretario


Firma

Dr. Saúl Obregón Biosca

Vocal

Firma

Dr. Marco Antonio Aceves Fernández

Suplente


Firma

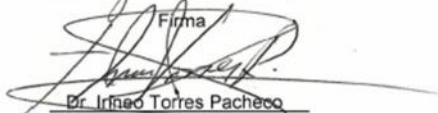
Dr. Edgar Rivas Ariza

Suplente


Firma

Dr. Aurelio Domínguez González

Director de la Facultad


Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario

Querétaro, Qro.

Mayo 2013

México

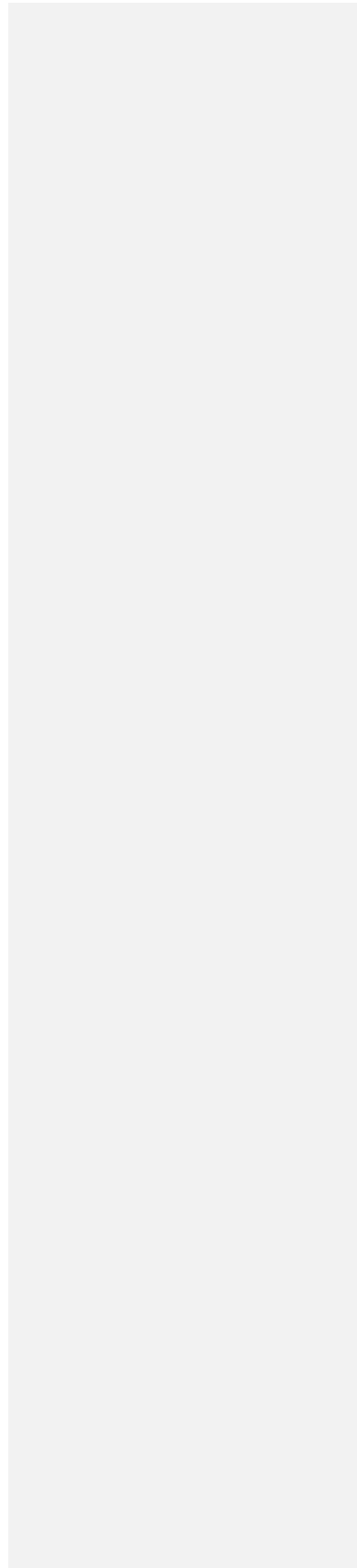
A mi querida esposa **Frida Ollinpilli Zamudio Vissuet**
A mi madre **Josefina Bárcenas Becerra**
A mis hermanos **Jared y Evelia**

AGRADECIMIENTOS

- Al Doctor Gilberto Herrera Ruíz por su confianza, apoyo y excelencia educativa.
- A mi amada Universidad que me ha formado en el honor y en la verdad.
- A los profesores de la Universidad Autónoma de Querétaro en especial al Doctor Manuel Toledano Ayala por su guía en el cumplimiento de esta tesis.
- A mis compañeros por el apoyo y los desvelos.
- Al CONACYT por el apoyo recibido.

Sistema de monitoreo móvil de la calidad del aire utilizando redes vehiculares de transporte.

Por Francisco Eduardo Piña Bárcenas.



RESUMEN

Se ha diseñado y probado un sistema de medición de la calidad del aire. El sistema propuesto consiste en una Unidad Terminal Remota (RTU, por sus siglas en inglés) y un servidor-receptor de información habilitado para la recepción de mensajes SMS. La unidad RTU integra un microcontrolador, un arreglo de sensores de gases, un modem GPRS (*General Packet Radio Service*) y un chip GPS. El servidor es una computadora personal (PC), con una conexión GPRS habilitada para la recepción de mensajes de texto. La RTU obtiene niveles de contaminantes ambientales (CO, NO₂, SO₂), estos niveles son integrados en una cadena de datos junto con las coordenadas y la hora UTC (*Coordinated Universal Time*). Esta cadena de datos después es enviada mediante el modem GPRS. Dentro del servidor se guardan los datos en archivos KLM (*Keyhole Markup Language*) para la visualización de niveles de contaminantes de grandes áreas urbanas mediante la aplicación *Google Earth*, por otra parte se guardan los datos de contaminación como columnas en archivos TXT para su uso en otras aplicaciones definidas por el usuario. El sistema se ha probado en la ciudad de Querétaro, México, dando como resultado Gráficas y concentraciones de gases a lo largo de una ruta seguida.

Palabras Clave: GPS, contaminación ambiental y sistemas embebidos.

SUMMARY

A system for measuring air pollution has been designed and tested. The proposed system consists of a Remote Terminal Unit (RTU) and a server-enabled information receiver which receives SMS messages. The RTU unit integrates a microcontroller, a gas sensor array, a computer (PC) with a GPRS modem for the reception of text messages. The RTU gather levels of environment pollutants (CO, NO₂, CO₂), these levels are integrated into a data stream along with the coordinates and UTC (Coordinated Universal Time). This data stream is then sent through the GPRS modem. Inside the server data is saved within KLM (Keyhole Language Markup) files for displaying large levels of pollutants in urban areas through Google Earth application, on the other hand pollution data are stored as columns in text files for use in other applications such as Matlab or any other user defined application. The system has been tested in the city of Queretaro, Mexico; the results are charts and gas levels on vehicles routes.

Keywords: GPS, air pollution and embedded systems.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	i
SUMMARY	ii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	vi
I INTRODUCCIÓN	8
I.1 Justificación.....	9
I.2 Planteamiento del problema	11
I.3 Hipótesis y objetivos	11
I.3.1 Hipótesis	11
I.3.2 Objetivo general.....	12
I.3.3 Objetivos específicos	12
II REVISIÓN DE LITERATURA	13
II.1 Redes de transporte	13
II.2 Redes Vehiculares	15
II.2.1 Redes vehiculares en el marco global	16
II.3 GPS.....	16
II.3.1 Sistema PAYD (Pay-As-You Drive)	18
II.4 Contaminación atmosférica.....	18
II.4.1 Contaminantes criterio	19
II.4.2 Lluvia Ácida.....	20
II.5 Casos de Estudio	21
iii Sistema de monitoreo móvil de la calidad del aire utilizando redes vehiculares de transporte.	

II.5.1	Monitoreo de la contaminación aérea mediante una red de sensores en Inglaterra	21
II.5.2	Identificación de características regionales de contaminación y su correlación con la salud pública en Taiwán.....	22
II.5.3	Arreglo móvil de sensores GPRS para monitoreo ambiental en Sharjah	22
III	METODOLOGÍA	23
III.1	RTU (Unidad Terminal Remota).....	23
III.1.1	Sensores	24
III.1.2	GPS	29
III.1.3	Modem GPRS	34
III.1.4	MICROCONTROLADOR	35
III.2	Servidor	37
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
IV.1	Validación.....	42
IV.1.1	Resumen de la simulación	43
IV.2	El experimento.....	49
IV.3	La correlación.	51
IV.4	Conclusiones y trabajo futuro.....	52
	BIBLIOGRAFÍA	55
V	Apéndices.....	58
V.1	Software embebido RTU.....	58
V.2	Software del Servidor.....	63

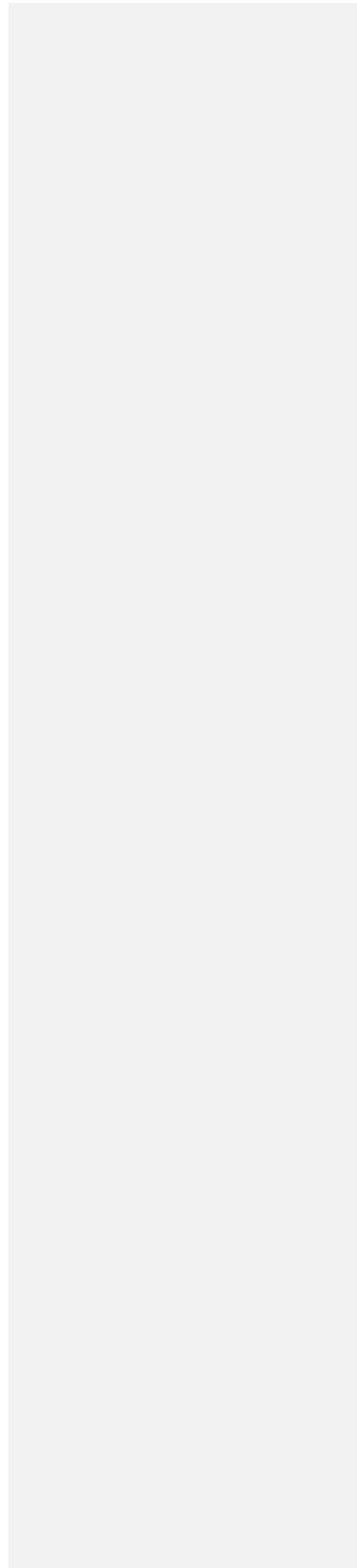
ÍNDICE DE TABLAS

Tabla II.1 Efectos de contaminantes en el cuerpo humano (Sukwon, Choi, 2009).....	19
Tabla III.1 Características de sensores ME3 (Winsensor, 2012).....	26
Tabla IV.1: Aforos y desaforos (Ramírez Enrique, 2012).....	45
Tabla IV.2 Emisiones contaminantes por tipo de vehículos (Ramírez Enrique, 2012).....	47
Tabla IV.3. Promedios por cuarto de hora.....	50
Tabla IV.4 Promedios en Mg/m ³	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1 Estaciones de Medición.....	10
Figura III.1 RTU.....	23
Figura III.2 Sensores serie ME3.....	25
Figura III.3 Modelo simplificado del sensor electroquímico.....	25
Figura III.4 Electro reducción de dióxido de nitrógeno.....	26
Figura III.5 Linealidad de sensores ME3.....	27
Figura III.6 Circuito de Referencia.....	28
Figura III.7 Diseño de acondicionador de señal.....	29
Figura III.8 SIM18.....	30
Figura III.9 Estatutos básicos de un archivo KML.....	31
Figura III.10 Marcador generado.....	32
Figura III.11 Sentencia de ejemplo.....	33
Figura III.12 Estructura de red GPRS.....	35
Figura III.13 Diagrama de flujo del microcontrolador.....	36
Figura III.14 Ventana de software del servidor.....	38
Figura IV.1 Ejemplo de ruta 1.....	40
Figura IV.2 Ejemplo de ruta 2.....	41
Figura IV.3 Concentraciones en ruta.....	41
Figura IV.4 Vista de calle de la simulación.....	42
Figura IV.5 Variación Volumétrica de transito Av. Tecnológico.....	44
Figura IV.6 Variación volumétrica sobre Ezequiel Montes.....	45
Figura IV.7: Distribución temporal de emisiones de monóxido de carbono.....	48
Figura IV.8 Puntos de toma de mediciones en la intersección.....	49

Figura IV.9. Gráfica de datos experimentales. 50



CAPÍTULO 1:

I INTRODUCCIÓN

Las redes de sensores son nuevos instrumentos útiles para detectar las condiciones en lugares remotos del mundo físico en aplicaciones tales como **sensado** de contaminantes, administración de transporte y detección de intrusos. Las redes de sensores son especialmente efectivas en aplicaciones que involucran la observación de grandes áreas geográficas debido a que las personas no pueden monitorear todas las zonas al mismo tiempo (Jung Y.J., Lee Y.K. et al, 2011).

Comentario [n1]: Terminó OK

La contaminación atmosférica antropogénica ha venido acompañando al hombre prácticamente desde hace casi 500 años, con el inicio de la explosión demográfica. El primer caso de efectos severos, reconocido históricamente fue el ocurrido en Londres en Diciembre de 1952, donde los altos niveles de contaminantes se asociaron con un alarmante incremento en el número de muertes (alrededor de 4,000). En la actualidad, las ciudades donde se han presentado altos niveles de contaminantes del aire son: México, Río de Janeiro, Milán, Ankara, Melbourne, Buffalo, Tokio y Moscú, por nombrar algunas. La implementación de dispositivos evaluadores de la calidad del aire se ha vuelto un tema de gran interés en el mundo moderno debido a la gran cantidad de enfermedades y efectos nocivos en la salud humana. Los efectos más comúnmente reportados en la salud por exposición a la contaminación del aire son en vías respiratorias (bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía, etc.), en el sistema cardiovascular (arritmias, infartos, etc.). (José Alberto Rosales-Castillo, 2001).

En el estado de Querétaro la SEDESU (Secretaría de Desarrollo Sustentable) es la encargada de la medición de la calidad del aire. Actualmente se cuenta con cinco unidades, de las que tres se ubican en el municipio de Querétaro, uno en Corregidora y uno más en El Marqués, lo que cubre la zona metropolitana (SEDESU, comunicación personal 2012). Cada una de estas estaciones es capaz de medir una gama muy amplia de gases contaminantes y asimismo ofrecen todo un abanico de protocolos disponibles para su comunicación con el mundo exterior

(Airpointer, 2012), por otra parte posee dos grandes inconvenientes, el precio y el hecho de ser sistemas fijos, lo cual limita su implementación y alcance.

En este trabajo se describe el diseño e implementación de una red móvil de sensores para la detección de contaminantes ambientales, el enfoque se da sobre los siguientes gases: monóxido de carbono debido a su alto potencial venenoso en la sangre, bióxido de azufre por ser el principal aporte en la formación de la lluvia acida, y por último el bióxido de nitrógeno ya que este gas es muy importante en la formación del ozono a nivel superficial. Estos tres gases son emitidos por el parque vehicular, que es el responsable de la tercera parte de la contaminación ambiental en el país. Los sensores serán instalados en las unidades del transporte público para su diseminación en el área metropolitana, éstos enviarán los datos obtenidos a un servidor fijo para su procesamiento y generación de mapas ambientales.

I.1 Justificación

La construcción de un buen sistema de calidad del aire ha estado recientemente en el foco de atención debido al incremento de reportes de problemas de salud relacionados con las pobres condiciones atmosféricas globales. Detectar contaminantes en el aire y determinar áreas contaminadas usando un sistema de monitoreo es muy importante como proceso inicial para implementar técnicas comunes de calidad del aire, tales como control de la fuente emisora, implementación de ventilación y limpieza del aire. (Sukwon, Choi et al. 2009).

Los efectos más comúnmente reportados en la salud por exposición a la contaminación del aire son en vías respiratorias (bronquitis, enfermedad pulmonar obstructiva crónica, neumonía, etc.), en el sistema cardiovascular (arritmias, infartos, etc.). (José Alberto Rosales-Castillo, 2001).

En el estado de Querétaro, como caso puntual de estudio, se han dado pasos en el monitoreo ambiental de manos de SEDESU (Secretaría de Desarrollo Sustentable), para esto se han instalado cinco estaciones de monitoreo ambiental, estas estaciones se encuentran en “zonas clave” de la mancha urbana, sin embargo el crecimiento habitacional e industrial ha sobrepasado la capacidad de medición de las estaciones (estimada en 2 km) mostradas en la siguiente figura (SEDESU, 2012).

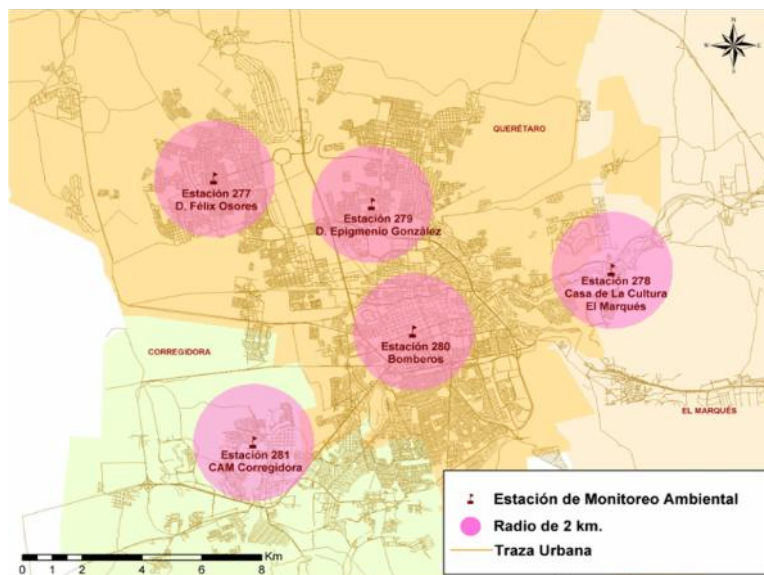


Figura I.1 Estaciones de Medición (Cortesía de SEDESU, 2012).

Problemas de mantenimiento (en ocasiones se ha mantenido una estación inactiva hasta por 3 semanas), poco conocimiento de proveedores mexicanos (los sistemas son de manufactura austriaca), el corte en la cadena de abastecimiento de refacciones y el elevado costo por unidad (1.7 millones de pesos por unidad) (SEDESU, 2012), hacen necesaria la búsqueda de una solución implementable localmente con recursos que puedan ser fácilmente intercambiables y de fácil mantenimiento.

I.2 Planteamiento del problema

Querétaro es un estado que mide 11,978 km², y tiene una población de 1, 827,937 habitantes y se espera que esta cifra supere los 2, 000,000 de habitantes para el siguiente censo de población (al Censo de Población y Vivienda 2010 (INEGI, 2011). Este desarrollo de la urbanización beneficia al desarrollo económico y social, pero genera grandes presiones al ambiente y produce también una serie de problemas ambientales (Feng Yang, 2011).

Los recientes avances en la tecnología de los sistemas microelectro-mecánicos (MEMS) y las redes de sensores inalámbricos (WSN), han permitido la creación de sistemas de monitoreo de contaminantes de bajo costo y su implementación en ambientes reales. La integración de un sistema de monitoreo de contaminantes con tecnología WSN, reducirá los costos de instalación y permitirá la reconfiguración rápida y fácil de los sistemas de adquisición de datos y de control. (Sukwon, Choi et al. 2009).

En el padrón vehicular existen 350 mil vehículos aproximadamente 2,480 son de transporte público colectivo y a su vez 1840 pertenecen al municipio de Querétaro y se dividen en 86 rutas que recorren la ciudad y sus inmediaciones. (Gobierno del estado de Querétaro, 2011). Y es precisamente gracias a estas rutas de transporte colectivo que la implementación de una red inalámbrica de sensores se vuelve factible gracias a la conversión de varias unidades en nodos de una red vehicular aplicada al monitoreo ambiental.

I.3 Hipótesis y objetivos

I.3.1 Hipótesis

El monitoreo en tiempo real aprovechando las cualidades (movilidad y flexibilidad) de las redes vehiculares hace posible generar una serie de datos renovados de forma frecuente para generar mapas dinámicos de contaminación y también identificar la emisión de gases

contaminantes que afectan a la ciudadanía a nivel del suelo en áreas urbanas con una precisión de al menos 90% respecto a un equipo comercial a una fracción del costo.

I.3.2 Objetivo general

Diseñar e implementar un sistema de monitoreo de calidad del aire con sistema de posicionamiento global empotrable en vehículos que permita obtener mediciones en tiempo real de las condiciones ambientales dentro de las áreas urbanas a bajo costo.

I.3.3 Objetivos específicos

1. Diseñar un sistema de adquisición de datos para el monitoreo de NO₂, SO₂ y CO empotrable en vehículos que permita obtener mediciones en tiempo real en los diferentes puntos de un recorrido.

2. Calibrar el sistema con base en un equipo comercial de medición para su comparación con los sistemas de medición de campo existentes.

3. Diseñar un sistema de comunicaciones punto-multipunto que permita la transmisión de datos en tiempo real (aplicación de redes vehiculares).

4. Programar una interfaz gráfica de usuario que permita la visualización en tiempo real de los datos recopilados.

CAPÍTULO 2:

II REVISIÓN DE LITERATURA

II.1 Redes de transporte

Incluso en tiempos prehistóricos, el transporte terrestre ha tendido a ser concentrado en vías bien definidas, y en la historia reciente esta tendencia ha sido reforzada por la construcción de caminos y puentes. La formalización de la propiedad de la tierra y derechos de vía, así como el desarrollo de vías fluviales, ferrocarril y transporte terrestre moderno, han definido las redes de transporte incluso con más precisión (Allsop, 2008).

Las ciudades alrededor del mundo encaran muchos retos sociales y ambientales. Las redes de transporte eficientes son parte integral de los sistemas de transporte modernos. Las redes de transporte público pueden contribuir remarcablemente al desempeño económico, la integración social y a un exitoso ambiente sustentable. La mayoría de las ciudades en las naciones avanzadas, no podrían funcionar de manera adecuada sin las redes y sistemas de transporte público en los cuales la mayoría de los residentes confían para su transporte urbano. La movilidad basada en vehículos particulares se vuelve difícil de mantener y ser soportada mientras las flotas de vehículos se expanden y traen nuevos costos medidos en congestiones y una expansión de capacidad vial que frecuentemente requieren complejas y costosas obras de ingeniería para librar el nivel del suelo (puentes, distribuidores viales etc...) de las comunidades urbanas. El transporte público está siendo reconocido de manera creciente como el contribuyente clave de la cohesión social en las ciudades. De manera más coloquial, el transporte público

simplemente ofrece una alternativa, idealmente preferible de transporte al automóvil (Dodson et al, 2011).

Para propósitos de modelado, lo más natural es representar las redes de transporte como redes de enlaces a lo largo de los cuales el tráfico (en la forma de gente, animales y vehículos) esta modelado como flujo, y nodos donde el flujo del trafico modelado converge y diverge, o bien, entra y sale de la red modelada (Allsop, 2008).

Es rol de los enlaces y su incidencia con los nodos, junto con cantidades y funciones asociado a los enlaces representar (Allsop, 2008):

- o La topología del sistema de transporte modelado.
- o Las características operativas y manejo local de tráfico en cada tramo de camino, carretera u otro derecho de vía.

La topología para cada enlace comprende (Allsop, 2008):

- o La dirección del tráfico a lo largo del enlace.
- o De que enlaces u otras fuentes, el tráfico puede ingresar al enlace.
- o A que enlace u otros desfogues, el tráfico puede dejar el enlace.
- o Permitir que los movimientos físicos posibles y permitidos por organismos reguladores en el sistema real, tomen lugar en el modelo.
- o Evitar que los movimientos físicos imposibles y prohibidos por organismos reguladores en el sistema real, tomen lugar en el modelo.
- o Permitir que los costos de cualquier tipo observados por cada usuario del sistema sean reflejados correctamente en el costo de desplazamiento entre los enlaces que conforman el sistema modelado.

La importancia de las redes de transporte público está creciendo más conforme las ciudades son presa de presiones ambientales y de recursos, orillándolas a la búsqueda de formas

de movilidad más sustentables. La crisis de clima global, por ejemplo, implica una urgencia de reducir drásticamente las emisiones de gases carbónicos, incluyendo aquellas procedentes de vehículos particulares (Dodson et al, 2011). Los automotores particulares contribuyen con el 44.5% de las emisiones del sector de transporte y aproximadamente con el 23% de las emisiones globales de gases de invernadero (IPCC, 2007).

II.2 Redes Vehiculares

Una red vehicular es una red de sensores, por lo tanto definiremos primero lo que es una red de sensores: “Una red de sensores es una gran colección de nodos sensores con una fuente de poder y capacidad de cómputo limitados” (Rad M. et al., 2012).

Las redes de comunicaciones han evolucionado de pequeñas islas de redes cerradas y cableadas en penetrantes infraestructuras móviles. Esto ha incrementado la aparición de aplicaciones móviles, usuarios y servicios. Por otro lado, los rápidos avances tecnológicos en el campo de la radio comunicación han allanado el camino para una nueva generación de redes de sensores llamadas “redes ubicuas de sensores (USN’s por sus siglas en inglés)” las cuales constituidas en su inserción en pequeños objetos de la vida diaria y con su conexión a redes diversas estos dispositivos generan diferentes servicios a diferentes usuarios en un ambiente heterogéneo que involucra un sinnúmero de dispositivos computacionales, aplicaciones y sistemas tanto móviles como fijos (Bagula A., Zennaro et al., 2012).

Las redes vehiculares constituyen una nueva clase de redes inalámbricas surgida gracias a los avances en tecnología inalámbrica y la industria automotriz (H. Moustafa et al, 2008). Las redes móviles (MANET) son una tecnología prometedora y emergente que permite el desarrollo de nuevas aplicaciones descentralizadas. Una MANET está formada por nodos móviles que se conectan entre sí de forma auto-organizada y sin infraestructuras preestablecidas. Cuando los nodos móviles son vehículos (ej. coches, motos, etc.), dicha MANET pasa a considerarse una red ad-hoc vehicular (VANET) (Alexandre Viejo et al, 2007).

Las redes vehiculares combinan varias disciplinas y técnicas tales como (R. Meraihi et al., 2008):

- Censado y percepción del entorno próximo.
- Capacidad de procesamiento.
- Almacenamiento.
- Ruteo y comunicación.

II.2.1 Redes vehiculares en el marco global

Entre las iniciativas existentes en el mundo tenemos el CVIS (sistemas de infraestructura vehículos cooperativos, por sus siglas en inglés), la cual pretende el desarrollo de un sistema de comunicación que es capaz de usar un amplio rango de tecnologías inalámbricas, incluyendo redes celulares (GPRS, UMTS), redes de área inalámbrica local (WLAN), emisores de microondas de corto alcance (DSRC) e infra rojos (IR). El acceso a estas tecnologías inalámbricas está basado en el nuevo estándar internacional “CALM” que permite la futura implementación de las redes vehiculares en CVIS mediante puntos de servicio estandarizados (CVIS Project, 2012).

II.3 GPS

EL GPS (sistema de posicionamiento global) es un sistema de radio navegación que proporciona señales de navegación precisas a cualquier parte de la Tierra. Aunque el GPS fue originalmente diseñado para aplicaciones militares, el GPS se también ha sido usado en varias aplicaciones civiles. (Lyidir, B. and Ozkazanc, Y, 2004).

El posicionamiento por GPS normalmente necesita “ver” cuatro satélites al menos. (Ershen Wang, et al., 2010).

Debido a que el único requerimiento para el usuario es un receptor/procesador, el costo para el usuario del sistema es relativamente pequeño. Por esta razón, el mercado público y comercial para las aplicaciones, y servicios basadas en GPS ha crecido exponencialmente y va más allá del uso militar (Silva, J. M. and Olsen, 2002).

En este momento, 28 satélites se encuentran en órbita, los cuales consisten en seis planos orbitales de cuatro satélites cada uno y cuatro “reemplazos” activos y en órbita. Cualquier día, el número de satélites es variable y puede caer hasta 24 antes de que sean añadidos reemplazos adicionales. Cada satélite se encuentra a una altitud de alrededor de 20,000 km, y se mueve aproximadamente a 4 km/s, completando su órbita en aproximadamente 12 horas. Cada una de estos satélites está equipado con relojes atómicos altamente precisos que mantienen su exactitud alrededor de 3 nanosegundos. Esta precisión en la medición del tiempo es el corazón del funcionamiento del sistema GPS. La determinación precisa del tiempo de tránsito de una onda, que viaja de un satélite con una posición conocida en el espacio al receptor del usuario en la superficie de la Tierra es la base para todas las aplicaciones GPS. La distancia, o rango es obtenido multiplicando el tiempo de tránsito aparente por la velocidad de la luz. La frase “tiempo de tránsito aparente” es usada porque este tiempo y el rango derivado de éste incluirá errores de propagación y otros errores potenciales. En general, la información de posición y velocidad son determinados por trilateración, la cual usa los rangos o distancia para procesar una posición tridimensional. (Silva, J. M. and Olsen, 2002).

II.3.1 Sistema PAYD (Pay-As-You Drive)

Dentro de las aplicaciones del GPS como herramienta posicional para el recabado de datos podemos encontrar el sistema PAYD o bien *pagas como manejas*, este sistema se basa en variables como: velocidad, estilo de manejo y uso del teléfono móvil, y a partir de los resultados obtenidos es posible obtener una caracterización de la persona que maneje un vehículo para el cálculo de una prima de seguro, en este caso el GPS toma el rol de medir la velocidad, aceleración y configuración del camino en que se maneja para determinar los tipos de riesgo que pueda incidir un conductor para de esta manera cobrar una prima personalizada (Boquete, L. et al, 2010).

II.4 Contaminación atmosférica

Es la introducción en la atmósfera, por el hombre, directa o indirectamente, de sustancias o de energía que tengan una acción nociva de tal naturaleza que ponga en peligro la salud del ser humano, que cause daños a los recursos biológicos y a los ecosistemas, que deteriore los bienes materiales y que dañe o perjudique las actividades recreativas y otras utilizaciones legítimas del medio ambiente.

La contaminación del aire es uno de los problemas ambientales más importantes, y es resultado de las actividades del hombre. Las causas que originan esta contaminación son diversas, pero el mayor índice es provocado por las actividades industriales, comerciales, domésticas y agropecuarias.

El aire puro es una mezcla gaseosa compuesta principalmente de nitrógeno, oxígeno y una pequeña cantidad de diferentes compuestos tales como el argón, el dióxido de carbono y el ozono. Entenderemos pues por contaminación atmosférica cualquier cambio en el equilibrio de estos componentes, lo cual altera las propiedades físicas y químicas del aire.

De acuerdo con la Secretaría del Medio Ambiente del Estado de México existen 2 tipos de contaminantes:

- 18 Sistema de monitoreo móvil de la calidad del aire utilizando redes vehiculares de transporte.

• Los que son arrojados directamente a la atmósfera como resultado de un proceso de combustión se llaman contaminantes primarios, estos son el dióxido de azufre (SO₂), monóxido de carbono (CO), vapores de combustibles y solventes, plomo (Pb) y partículas suspendidas.

• Una vez en el aire, algunos contaminantes primarios reaccionan con otros compuestos y forman contaminantes de igual o mayor toxicidad, estos se denominan contaminantes secundarios, como el ozono (O₃), el dióxido de nitrógeno (NO₂) y algunos tipos de partículas (secretaría del medio ambiente, 2011).

II.4.1 Contaminantes criterio

Son los contaminantes que están regulados por una norma que define los niveles de concentración en el aire recomendables para la protección de la salud humana. Estos son: ozono (O₃), partículas suspendidas totales (PST), partículas menores a 10 micrómetros (PM₁₀), partículas menores a 2.5 micrómetros (PM_{2.5}), monóxido de carbono (CO), dióxido de azufre (SO₂), dióxido de nitrógeno (NO₂) y plomo (Pb). En México las normas las define la Secretaría de Salud y se conocen como Normas Oficiales Mexicanas de Salud Ambiental (Secretaría del medio ambiente, 2011).

Tabla II.1 Efectos de contaminantes en el cuerpo humano (Sukwon, Choi, 2009).

Categoría	Fuentes	Efectos
CO	Calentadores, chimeneas y hornos, estufas de gas, escapes.	Falta de coordinación y vista desenfocada, dolores de cabeza, mareos y náuseas.
NO ₂	Calentadores de keroseno, estufas de gas sin ventilación, humo de tabaco, escapes.	Irritación de ojos, nariz y garganta, función pulmonar desigual, infecciones respiratorias.

PM	Chimeneas, humo de tabaco, estufas de leña, calentadores de keroseno.	Irritación de ojos, nariz y garganta, bronquitis, cáncer pulmonar.
CO ₂	Calentadores de gas, humo de tabaco, estufas de leña, productos automotrices.	Estimulación del centro respiratorio, mareos, confusión, dolor de cabeza, falta de aliento.
VOC	Ambientadores, pinturas, combustibles almacenados, productos automotrices, ropa lavada en seco.	Irritación de ojos, nariz y garganta, dolor de cabeza, pérdida de coordinación, náusea, daños al sistema nervioso central, hígado y riñones.

II.4.2 Lluvia Ácida

El agua de la lluvia, la nieve, la niebla o el rocío se acidifican cuando los contaminantes como el dióxido de azufre (principalmente) (SO₂) o los óxidos de nitrógeno (NO_x) reaccionan con la humedad de la atmósfera y forman compuestos ácidos (Secretaría del medio ambiente 2011).

La reacción es iniciada por el átomo de azufre presente en el dióxido de azufre, el cual es fijado a un átomo de agua en la forma aductora sin barrera SO₂-H₂O. Subsecuentemente a través una variedad de transformaciones isómero SO₂-H₂O, se obtienen tres tipos de productos: P₁ (H₂SO₃), P₂ (H₂O₂ + SO), y P₃ (SO₃ + H₂). De estos P₁ es precisamente la lluvia acida (Morteza Vahedpour and Fatemeh Zolfaghari, 2011).

La lluvia ácida que cae en los bosques, parques, jardines y zonas de cultivo provoca la muerte de los microorganismos que habitan el suelo y que aportan nutrientes a las plantas, disminuye la resistencia de los vegetales a plagas y enfermedades, reduce la absorción de minerales e incrementa la dilución de los metales en el suelo que contaminan los alimentos y las

aguas superficiales y subterráneas. El impacto de la lluvia ácida en las zonas urbanas afecta a los materiales de construcción de los edificios, monumentos y esculturas que constituyen el patrimonio histórico y cultural. La zona agrícola, forestal y las áreas naturales protegidas al oeste y al sur de la Zona Metropolitana del Valle de México, son las más afectadas por este fenómeno (Secretaría del medio ambiente 2011).

II.5 Casos de Estudio

II.5.1 Monitoreo de la contaminación aérea mediante una red de sensores en Inglaterra

El transporte tiene un impacto significativo en el ambiente en el que vivimos. En general, esos impactos pueden ser divididos en cuatro grandes rubros: calidad del aire local, cambio climático, contaminación del agua. Evidentemente, el aire limpio es vital para la salud humana. Los altos niveles de partículas finas (PM10) en el aire, durante el año 2005, se estimaron que causaron 1,031 muertes aceleradas y 1,088 admisiones hospitalarias por problemas respiratorios en Londres. La mayor fuente de contaminación del aire en Londres son las emisiones de los automóviles. La Agencia Ambiental estimó que estas fuentes contaminantes generaron más del 97% de emisiones de CO y 75% de NO_x.

Con el objeto de monitorear los contaminantes y sus efectos hacia el medio ambiente, se ha desarrollado un dispositivo denominado Mobile Discovery Net (MoDisNet para abreviar), para recolectar datos de contaminación en tiempo real en aspectos clave como las condiciones del tráfico, emisiones, concentración de contaminantes en el ambiente y exposición del ser humano a estos. El propósito es desarrollar la capacidad para medir, modelar y predecir una gran cantidad de contaminantes y riesgos en el medio ambiente, usando una red permanente de sensores en las carreteras y en los automóviles. (Yajie Ma, et al. 2008)

II.5.2 Identificación de características regionales de contaminación y su correlación con la salud pública en Taiwán

Este estudio apunta a la clasificación de regiones con diferentes características de contaminación aérea en Taiwán, y más adelante a evaluar y comparar la calidad de aire en varios grupos. Se aplican técnicas de análisis multivariadas y análisis de grupo al grupo de datos de monitoreo de contaminación los cuales incluyen PM, SO₂, NO₂, CO y O₃. Los resultados obtenidos han probado que las regiones con características de contaminación similares pueden ser apropiadamente agrupadas aplicando análisis de grupo. Todas regiones están clasificadas en 6 grupos, y el modelo de contaminación de cada grupo está caracterizado como: Grupo 1 (niveles altos de SO₂/NO₂, niveles bajos de PM), Grupo 2 (niveles altos de PM), Grupo 3 (niveles altos de SO₂/PM), Grupo 4 (niveles altos de SO₂/NO₂, niveles bajos de PM), Grupo 5 (niveles bajos de CO/NO₂, niveles altos de O₃), y Grupo 6 (niveles bajos de PM/CO/ SO₂/NO₂/ O₃). Los resultados indican que las regiones en el grupo 6 tienen la mejor calidad del aire, mientras que las regiones en el grupo 3 tienen la peor calidad de aire de Taiwán.

Los resultados de la relación de los análisis revelan que la incidencia de enfermedades respiratorias es significativamente positiva relacionada con contaminación de NO₂ es de 99% (Cheng F. Lee, et al. 2007).

II.5.3 Arreglo móvil de sensores GPRS para monitoreo ambiental en Sharjah

El sistema consiste en una unidad móvil de adquisición de datos (Mobile DAQ) y un servidor de internet fijo para el monitoreo de contaminación aérea (Pollution Server). La unidad móvil integra un microcontrolador, varios sensores de monitoreo de la calidad del aire, un modem GPRS (General Packet Radio Service Modem por sus siglas en ingles), y un módulo de GPS.

El sistema móvil obtiene niveles de contaminación aérea (CO, NO₂, y SO₂), y los “empaqueta” con la localización física, fecha y hora. El paquete de datos es posteriormente

“subido” y mandado al servidor fijo mediante la red pública móvil. Un servidor de base de datos colocado en el servidor fijo guarda los datos obtenidos para su posterior uso por “clientes” tales como agencias de protección al ambiente, registro vehicular, autoridades, turistas y compañías de seguros. A su vez el servidor fijo esta enlazado a Google Maps para desplegar la información en tiempo real de los niveles de contaminantes en grandes zonas metropolitanas.

El sistema fue exitosamente probado en la ciudad de Sharjah en los Emiratos Árabes. El sistema reporta en tiempo real tanto niveles como sus ubicaciones en una base temporal 24/7 (A. R. Al-Ali, Imran Zualkernan, and Fadi Aloul, 2010).

CAPÍTULO 3:

III METODOLOGÍA

III.1 RTU (Unidad Terminal Remota)

La Unidad Terminal Remota (RTU por sus siglas en inglés) es la unidad básica de medición y se compone de los siguientes componentes:

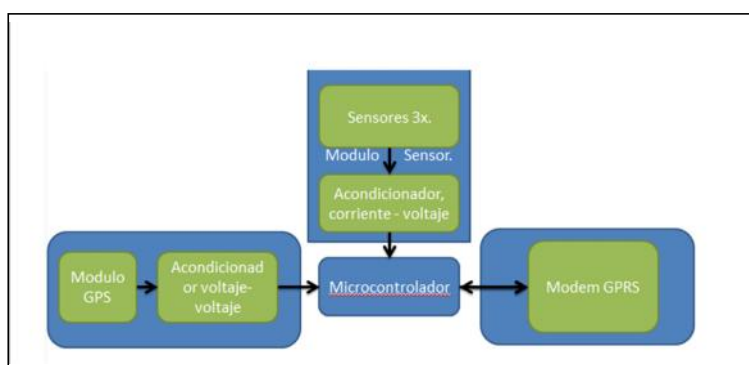


Figura III.1 RTU.

Cada RTU será capaz de medir SO₂, NO₂ y CO debido a su relación con la lluvia acida, ozono a nivel de suelo y toxicidad respectivamente.

Para conocer la posición geográfica se acondicionó una interfaz GPS capaz de obtener latitud y longitud para el “empaquetado de datos” y la posterior generación de archivos KML capaces de desplegar los puntos bajo la interfaz de Google Earth.

El Modem GPRS será la puerta de salida de la información, cada RTU se comunicará con un servidor (el cual se tratará más adelante), el cual a su vez tendrá otro modem GPRS para la recepción de datos.

El corazón del sistema es un micro controlador el cual es el encargado de administrar lecturas, toma de coordenadas y comunicaciones.

A continuación se describen con más detalle los componentes constituyentes de una unidad RTU.

III.1.1 Sensores

Los sensores seleccionados son sensores electroquímicos (también llamados amperometricos por su salida), el principio detrás de estos sensores es la medición de la relación corriente-potencial en una celda electroquímica donde el equilibrio no está establecido (Tomas Nezel, 2002).



Figura III.2 Sensores serie ME3 (Winsensor, 2012).

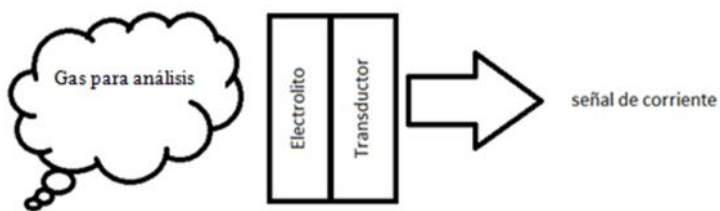


Figura III.3 Modelo simplificado del sensor electroquímico.

La corriente es cuantitativamente relacionada a la velocidad del proceso electrolítico en el electrodo “work” donde el voltaje del electrodo de referencia es constante. En los sensores electroquímicos (amperométricos) el gas analizado es oxidado o reducido en el electrodo “work” mediante un voltaje aplicado, el cual es ajustado para el gas específico y permite una cierta discriminación (Tomas Nezel, 2002).

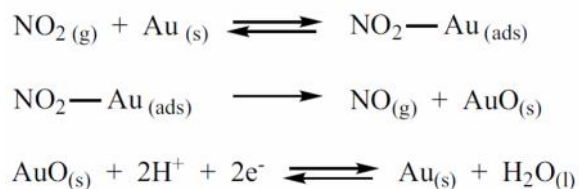


Figura III.4 Electro reducción de dióxido de nitrógeno (Tomas Nezel, 2002).

En la figura III.2 se puede apreciar la electro reducción del gas NO_2 y como dentro de los productos de la reducción se aprecian dos electrones libres, estos electrones proporcionalmente a la cantidad de gas reducido es la corriente que obtenemos del sensor.

La selectividad de un sensor electroquímico puede ser mejorada mediante la modificación de las superficies con capas de metal, polímeros o mediante la implementación de filtros semiselectivos con una cierta apertura de los poros del filtro. Los sensores comerciales (como los que aquí se refiere) exhiben una sensibilidad en el rango de las partes por millón (ppm), lo que los hace adecuados para el objetivo de esta investigación (Tomas Nezel, 2002).

Los sensores de manera específica son sensores de la serie ME3 fabricados por la empresa Winsensor emplazada en China en la tabla siguiente se muestran sus características.

Tabla III.1 Características de sensores ME3 (Winsensor, 2012).

Tipo de sensor	ME3-CO	ME3-NO2	ME3
Rango de medición	0-1000 ppm	0-20 ppm	0-20 ppm
Sensibilidad (uA/ppm)	0.08±0.02	0.06±0.15	0.5±0.1
Reproducibilidad	Señal de salida ±2%	Señal de salida ±2%	N/A
Tiempo de respuesta	<30s	<25s	<30s

Atenuación de la señal	<2%/	<2%/	<2%/
------------------------	------	------	------

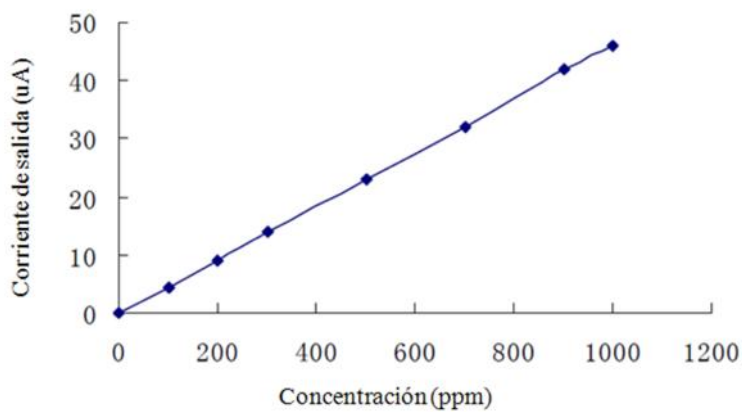


Figura III.5 Linealidad de sensores ME3 (Winsensor, 2012).

La figura anterior nos hace referencia a la linealidad del sensor dentro de su rango de medición, que como se puede observar es muy lineal, asimismo todos los valores de medición son superiores a lo que determina el estándar IMECA (Índice Metropolitano de la Calidad del Aire) como calidad de aire “buena” (hasta 100 puntos IMECA), los componentes de equivalentes a 100 puntos IMECA es la siguiente: Monóxido de Carbono 11ppm, Bióxido de Azufre 0.13 ppm, Bióxido de Nitrógeno 0.21 ppm.

(i) Acondicionador de Voltaje

Para el acondicionamiento de la señal se ha usado un circuito típico, propio del fabricante el cual se reproduce a continuación.

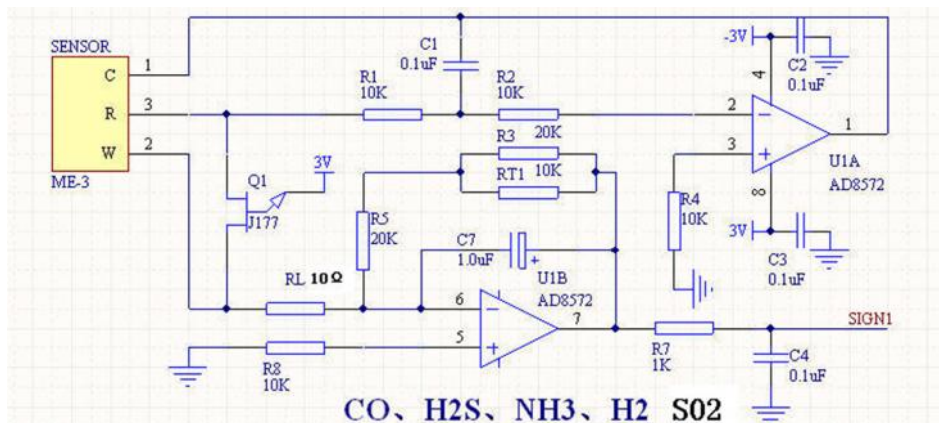


Figura III.6 Circuito de Referencia (Winsensor, 2012).

Este acondicionador se alimenta con +3.0v y con -3.0v por lo cual y debido a que la salida es siempre positiva es ideal para su uso con los puertos analógicos del PIC usado. Experimentalmente (debido a que el fabricante no provee mucha información), se ha determinado una relación de 1.7V para 50uA o bien 1000 Ppm. El diseño de la tarjeta de muestra a continuación, se debe tener en cuenta que por cada RTU se deben tener 3 acondicionadores de señal (1 por cada sensor).

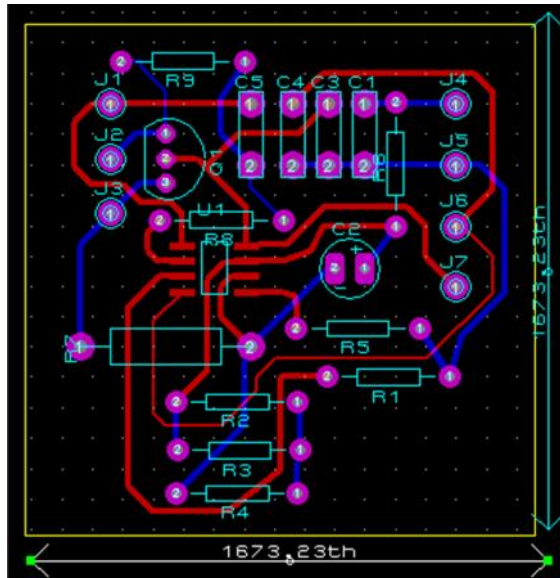


Figura III.7 Diseño de acondicionador de señal.

III.1.2 GPS

El chip GPS a usar es el SIM18 fabricado por la compañía SIMCom, este chip es un receptor de GPS el cual incorpora la nueva generación del procesador de navegación SiRFstarIV, asimismo este chip es capaz de obtener una señal relativamente baja (-161dBm) esto lo hace eficaz para tener una buena conexión con la constelación de satélites GPS. El consumo de potencia de este chip también es bajo, aproximadamente 36uW @ 1.8V, lo cual lo hace sumamente apropiado para el trabajo de adquisición de la posición durante tiempos largos. El procesamiento de la señal desde la antena hasta la salida es totalmente autónomo mediante unas pocas configuraciones durante el encendido (estas configuraciones se reducen a conexiones en los pines indicados). En la salida obtenemos mensajes del tipo NMEA (National Marine Electronics Association) mediante el protocolo RS-232 para su uso (SIM18, 2011).

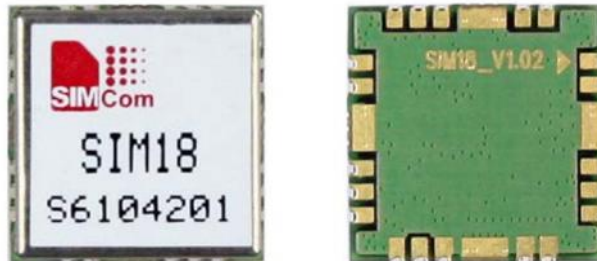


Figura III.8 SIM18 (SIMCom, 2011).

(i) NMEA

La asociación nacional de electrónica marina (NMEA) es una organización libre de lucro compuesta de fabricantes, distribuidores, comerciantes, instituciones de educación y otros interesados en el uso de periféricos electrónicos de aplicación naval.

La NMEA también ha establecido un grupo de trabajo para desarrollar nuevos estándares para comunicación dentro de los dispositivos a bordo de embarcaciones. El estándar, NMEA 2000, es una red de datos seriales bidireccional, multitransmisora-receptora con múltiples amos y sin un control central (NMEA0183, 2001).

(ii) Sentencias Generadas

Las sentencias generadas por el modulo GPS son:

- \$GPGGA: Contiene información detallada de la posición del GPS, tales como, tiempo UTC, latitud, longitud, indicador de calidad de la señal del GPS, numero de satélites en “vista”, etc...
- \$GPRMC: Esta sentencia contiene la información “mínima recomendada” para guía satelital, esta información es: latitud, longitud, velocidad, dirección, hora del satélite y variación magnética.
- \$GPGSV: Esta sentencia contiene solo la información acerca de los satélites en “visibles”: numero, elevación, azimut y calidad de la señal.

De estos mensajes se seleccionó el primero para hacer la experimentación debido a la cantidad y tipo de información, especialmente la cantidad de satélites, necesaria para poder hacer un rastreo más preciso a nivel suelo y evitar errores de “pinpointing” o precisión fina.

(iii) Archivos KLM

KML es un formato de archivo que se utiliza para mostrar información geográfica en navegadores terrestres como Google Earth, Google Maps y Google Maps para móviles. KML utiliza una estructura basada en etiquetas con atributos y elementos anidados y está basado en el estándar XML. Todas las etiquetas distinguen entre mayúsculas y minúsculas y deben aparecer exactamente como aparecen en la Referencia de KML. En esta referencia se indica qué etiquetas son opcionales. Dentro de un elemento determinado, las etiquetas deben aparecer en el mismo orden en el que aparecen en la referencia (Google, 2012). Podemos ver un ejemplo en el siguiente cuadro de texto. Posición

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
<Placemark>
<name>UAQ "Estacionamiento ingeniería"</name>
<description>Posición de prueba en estacionamiento de la FIUAQ 10/01/2012</description>
<Point>
<coordinates>-100.41181,20.590975</coordinates>
</Point>
</Placemark>
```

Figura III.9 Estatutos básicos de un archivo KML.

Este código está estructurado de la siguiente forma (Google, 2012):

- Un encabezado XML. Es la línea número 1 de todos los archivos KML. Antes de esta línea no puede haber caracteres ni espacios.
- Una declaración de espacio de nombre de KML. Es la línea número 2 de todos los archivos KML 2.2.
- Un objeto de marca de posición (Placemark) que contiene los siguientes elementos:
 - Un nombre (name) que se utiliza como etiqueta para la marca de posición.
 - Una descripción (description) que aparece en una "viñeta" junto a la marca de posición.
 - Un punto (Point) que especifica la posición de la marca de posición en la superficie de la Tierra (la longitud, la latitud y, opcionalmente, la altitud).

En la siguiente figure es posible observar lo que genera el código cuando el archivo es abierto mediante Google Earth.



Figura III.10 Marcador generado.

Como puede observarse es posible colocar un marcador con título y comentarios, gracias a esto es posible generar un archivo de texto de poco peso en bytes con la información necesaria y capaz de mostrarse de manera fácil en un software que es gratuito para su uso. Además cada archivo KML es capaz de contener tantos puntos como el usuario quiera con la información que el mismo usuario defina para su visualización.

(iv) Coordenadas y conversión

El formato de coordenadas usadas por el módulo de GPS es precisamente NMEA, para poder usarlo en Google Earth es necesario convertirlo en coordenadas basadas en grados minutos y segundos, sin embargo para poder usar los archivos de codificación KML es preciso usar el formato decimal, para usar dicho formato se toma como referencia la coordenada en formato NMEA, por ejemplo:

\$GPGGA,171311.000,2035.4580,N,10024.7082,W
UTC Latitud Longitud

Figura III.11 Sentencia de ejemplo.

Las coordenadas generadas por el chip tienen el siguiente formato: gmmm.ssss, para la latitud y gggmm.ssss, para la longitud, esto es debido a que la latitud máxima es 90° norte o sur donde el punto cero es el ecuador, y a su vez la longitud máxima es 180° este u oeste con el punto cero en el meridiano cero o de Greenwich.

Para convertir la latitud del formato grados, minutos, segundos al formato decimal se siguen los siguientes pasos:

- Los cuatro últimos dígitos (los segundos) después del punto se dividen por 60.

-
- Los minutos se dividen a su vez sobre 60 y se suman a la fracción obtenida en el paso anterior.

$$\frac{35}{60} = 0.58333333$$

$$0.58333333 + 0.007633 = 0.59096633$$

- Por último se suman los grados a la cifra obtenida de los pasos anteriores para completar la conversión.

$$20 + 0.59096633 = 20.59096633$$

La última consideración a tener en cuenta en la conversión es que si la latitud se encuentra al sur, entonces la coordenada calculada será negativa, lo cual no es el caso, de la misma manera si la longitud se encuentra al oeste del meridiano de Greenwich la coordenada calculada será negativa, como es el caso de la coordenada del ejemplo. Si se observa la línea “<coordinates>-100.41181, 20.590975</coordinates>” procedente de la figura III.9 observamos que la coordenada de la latitud es aproximadamente igual a la coordenada calculada en este ejemplo, ay que recordar que la coordenada que aparece en la figura III.9 fue calculada y trunca por el microcontrolador, de la misma manera se calcula la longitud y como se encuentra al oeste, se observa que la cifra es negativa.

III.1.3 Modem GPRS

El modem GPRS es un modem genérico (cualquier marca de dispositivos de este tipo será funcional), el cual incorpora un puerto DB-9 para su comunicación con el RTU mediante el protocolo RS-232 a una velocidad de 9600 baudios.

La información de los sensores es procesada mediante el microcontrolador y enviada al modem para su posterior envío remoto a una computadora usada como servidor. En el caso de una falla de transmisión causada por alguna posible falla el mensaje queda guardado en la memoria del modem. La principal ventaja de la transmisión por red celular es la flexibilidad y el alcance limitado solamente por la penetración de la red celular. Otra ventaja es el bajo costo por

cantidad de datos transmitida, asimismo las necesidades de potencia son simples y asequibles (Mahjoubi, 2011).

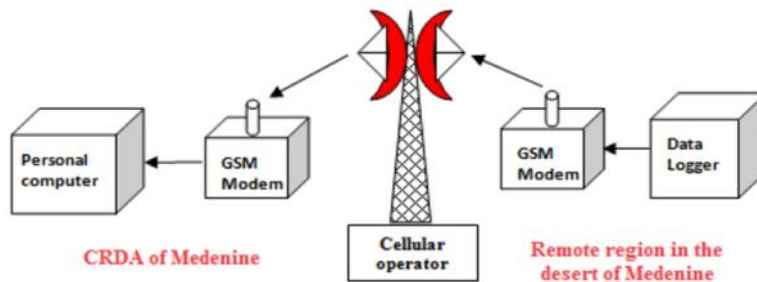


Figura III.12 Estructura de red GPRS (Mahjoubi, 2011).

III.1.4 MICROCONTROLADOR

El microcontrolador a usar es el pic16f877a el cual es un microcontrolador económico (67,40 pesos en 2012) altamente probado y con los puertos necesarios para el proyecto, el pic18f24j11 equipa 10 canales A/D de 10 bits de los cuales se planea usar 3 para los sensores de gases, gracias a los dos puertos USART, es posible conectarse a los periféricos que así lo soporten (Microchip, 2012), en nuestro caso sirven para conectar el chip GPS y el Modem GPRS ya que ambos transmiten y/o reciben usando el protocolo RS232. Es posible programarlo de manera amigable mediante el uso del lenguaje C con distintos entornos de programación, además de que comercialmente existen varios programadores a precio accesible que soportan este microcontrolador.

(i) Software embebido

El objetivo del microcontrolador es administrar a los demás dispositivos para que la información obtenida sea extraída, procesada y adecuada para su inclusión en un “paquete”

GPRS. Para este objetivo se ha diseñado un código en lenguaje C optimizado para microcontroladores, el diagrama de flujo de dicho código se aprecia a continuación.

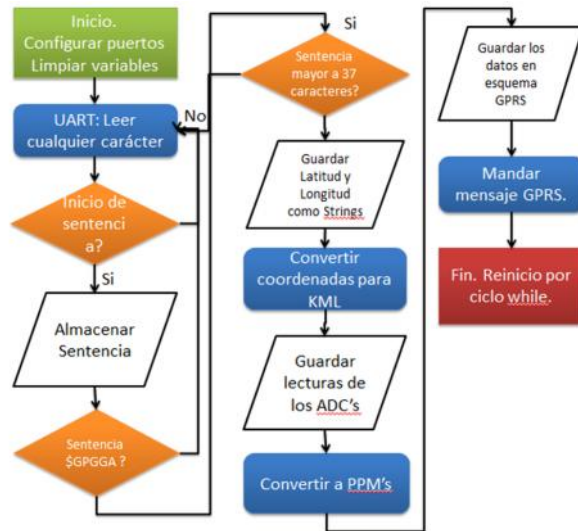


Figura III.13 Diagrama de flujo del microcontrolador

Una vez que se ha encendido el sistema y se inicia el chip GPS, se espera a que la sentencia usada sea mayor a 37 caracteres (esto significa que ya se tienen datos) debido a la falta de algún tipo de señal por parte del chip para informar acerca del inicio de la conexión.

Una vez que se tienen las mediciones se envían al modem GPRS junto con las cadenas de comandos AT (Todo el código puede verse en los Apéndices), la sentencia enviada tiene la siguiente forma:

```
$A20.59057,B100.41210,C0.000,D0.000,E0.000,F18,G46,H31,#
```

Donde:

\$: Inicio de sentencia

A: Latitud.

B: Longitud

C: Monóxido de Carbono (PPM)

D: Bióxido de nitrógeno (PPM)

E: Bióxido de Azufre (PPM)

F: Hora (UTC)

G: Minutos (UTC)

H: Segundos (UTC)

#: fin de sentencia

El RTU mandará un mensaje de este tipo cada 30 segundos en base al tiempo UTC provisto por los satélites GPS (esto ya se vio en la sección 2 de este apartado).

III.2 Servidor

Para el servidor se ha usado una computadora normal con sistema operativo Windows. Se ha programado el sistema de captura de datos mediante el paquete C++ Builder 6 para su ejecución en sistemas más modernos, además de que a diferencia de otros paquetes no es necesario “parchar” el acceso a los puertos seriales, la ventana del programa se muestra a continuación.



Figura III.14 Ventana de software del servidor

Dentro de los datos que podemos observar están: la cadena enviada por el RTU, latitud longitud, concentraciones de gases, hora UTC y el número de datos que han sido capturados dentro de un archivo KLM, la estructura del archivo escrito por el programa se puede ver a continuación.

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<kml xmlns="http://www.opengis.net/kml/2.2">
  <Folder>
    <Placemark id="pin 1">
      <name>Lectura: 1 Hora: 19:43</name>
      <description>Monóxido de Carbono: 0.000
      Bioxido de Nitrógeno: 0.000
      Bioxido de Azufre: 0.000
      </description>
      <Point>
        <coordinates>-100.41214,20.59060</coordinates>
      </Point>
    </Placemark>
  </Folder>
</kml>
```

Una vez abierto en Google Earth es posible observar el/los puntos de medición tomados de la siguiente manera:



Figura III.15 Archivo visto en Google Earth

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Veamos dos rutas tomadas a diferentes horas del día:



Figura IV.1 Ejemplo de ruta 1

La primera ruta fue capturada a las 15:00 horas tiempo de México, la segunda fue tomada a las 8:30 horas, en la primera ruta se observaron concentraciones más altas de Monóxido de Carbono, además de lecturas de Bióxido de Azufre, en la segunda se obtuvieron concentraciones más bajas de Monóxido de Carbono, además no se encontró Bióxido de Azufre, cabe señalar que las 15:00 horas es una hora en que la vialidad 5 de febrero está muy transitada, mientras que las 8:30 horas es una hora en que las escuelas ya han iniciado clases, la gente ya está en su mayoría en sus puestos de trabajo, por lo que el tráfico es más ligero a esta hora.

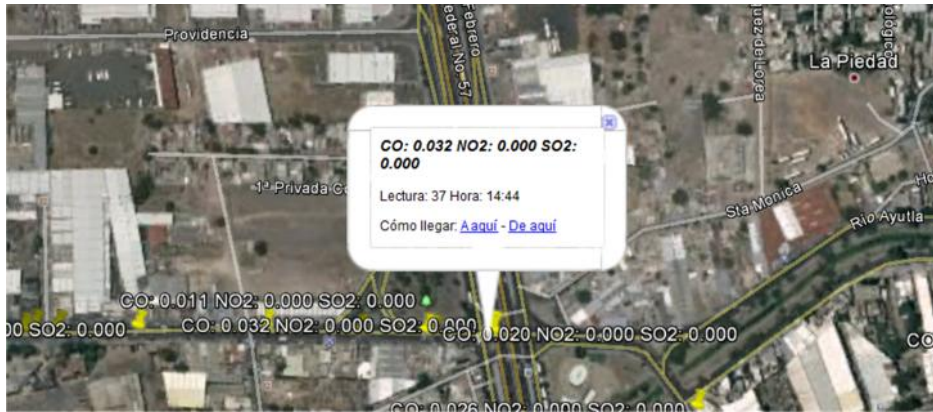


Figura IV.2 Ejemplo de ruta 2

El Bióxido de Nitrógeno no estuvo presente en ninguna medición. A continuación se muestra una gráfica de concentraciones de la ruta 2:

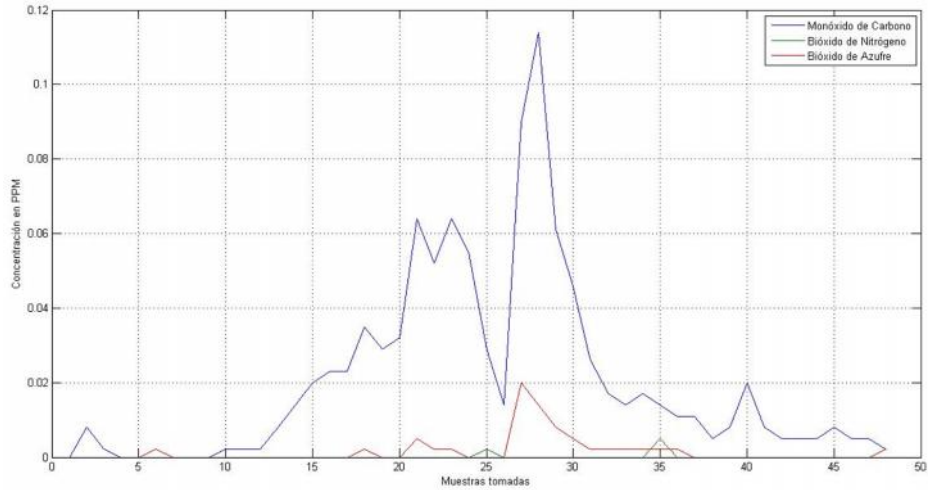


Figura IV.3 Concentraciones en ruta

De esta figura podemos observar que al principio y al final no existen lecturas, esto se asume a que en el caso del principio el punto de salida es una colonia con muy bajo tráfico en sus

calles, lo mismo pasa con el punto de destino el cual es la Universidad Autónoma de Querétaro. La medición pico se tomó en las inmediaciones de la avenida 5 de febrero, la cual debido a su carga de tráfico arroja estos datos.

IV.1 Validación

Para validar la funcionalidad del sistema se debe tener en cuenta que no existen dispositivos comerciales que funcionen dentro de los parámetros del sistema propuesto. Para solventar este problema se usó micro-simulación de tráfico bajo el entorno del software de simulación AIMSUN del cual la Universidad Autónoma de Querétaro tiene licencia. La simulación fue realizada por Ramírez (2012) y usada como validación en la intersección de la calle Hidalgo con Av. Tecnológico



Figura IV.4 Vista de calle de la simulación (Ramírez, 2012)

Para ello, se ha recopilado información física de la red vial y de los flujos vehiculares así como de su comportamiento, además en la computadora se ha construido el grafo de la red vial en el software AIMSUN y se ha alimentado con la información vial recabada en las zonas bajo análisis. Este proceso consigue resultados para explicar las características del fenómeno de tráfico actual y adquirir porcentajes de consumo de combustibles (Ramírez, 2012).

IV.1.1 Resumen de la simulación

Debido a que en algunas de las intersecciones en las vialidades de estudio no se tenían registro de aforos vehiculares por parte de la Secretaría de Seguridad Pública, fue necesario expandir la muestra para todo el día en algunas intersecciones, ya que sólo se tenían algunas horas de la mañana, tarde y noche pero no de todo el día continuo (7:00am-8:00pm) de aquí que se tomó como base una intersección la cual estaba completa en el conteo de vehículos y con referencia a ella se obtuvieron factores que relacionara a las horas de la mañana, tarde y noche de las vialidades que no tenían todos los aforos, logrando con esto complementar para todas las intersecciones su volumen vehicular de todo el día; Tal es el caso de la Av. Tecnológico en donde la intersección Miguel Hidalgo vs Av. Tecnológico que es la que se tenía la información completa de aforos vehiculares, se logró expandir la muestra para las intersecciones de Morelos, 13 de Septiembre, Avenida del 57, Xicotécatl y Francisco I. Madero, por medio de factores independientes de cada intersección respetando el movimiento y las vueltas de cada nodo, es decir, los conteos que van de frente sobre Tecnológico con Hidalgo, son los que se tomaron como base para expandir la muestra en los conteos que van de frente sobre Tecnológico en la intersección con Morelos y así sucesivamente para cada intersección y para cada movimiento (derecha o izquierda).

De igual manera se hizo en la calle Ezequiel Montes, donde se tomó como base de expansión el nodo formado por la calle Ezequiel Montes con Miguel Hidalgo respetando el mismo principio de expansión que en la Avenida Tecnológico. En la expansión se tuvo especial cuidado en verificar que los datos no se dispararan de la realidad, sin embargo, debido a que mantienen una uniformidad a lo largo de la vialidad pero en diferentes magnitudes con base al nodo en estudio, es que se logró una adecuada expansión la cual representa de una manera realista los movimientos en cada intersección, lo cual podemos ver en las gráficas de variación

volumétrica de tránsito en las Figura IV.5 y IV.6, las cuales contienen el análisis de todos los nodos de cada una de las intersecciones de las calles objeto de estudio, mientras que en la Tabla IV.1, se muestran los aforos de cada hora en una de las intersecciones con Miguel Hidalgo, en ellas podemos identificar la hora de máxima demanda, la cual se presenta en el periodo de 7:15-8:15 en ambos casos, teniendo el pico más elevado en la gráfica y de igual manera podemos ver las horas con mayor demanda siendo éstas en la tarde (12:00-1:00) y noche (18:45-20:00pm) que son las salidas a comer y salida de clases así como el regreso a casa de los trabajadores por la tarde-noche (Ramírez, 2012).

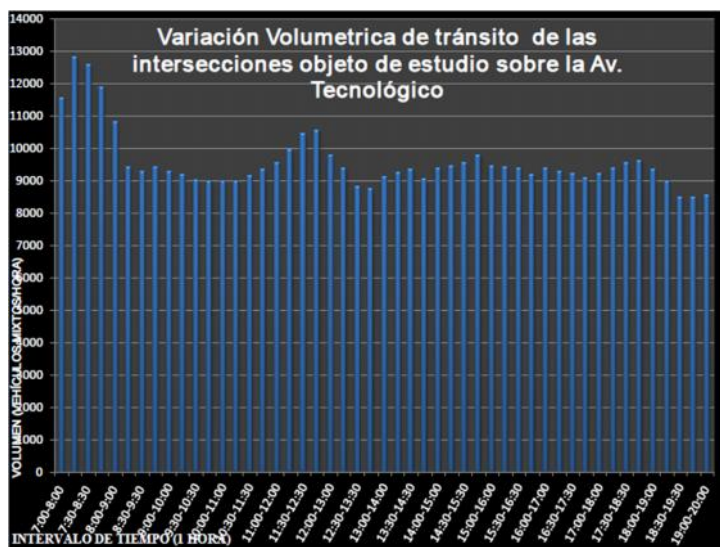


Figura IV.5 Variación Volumétrica de tránsito Av. Tecnológico (Ramírez, 2012)

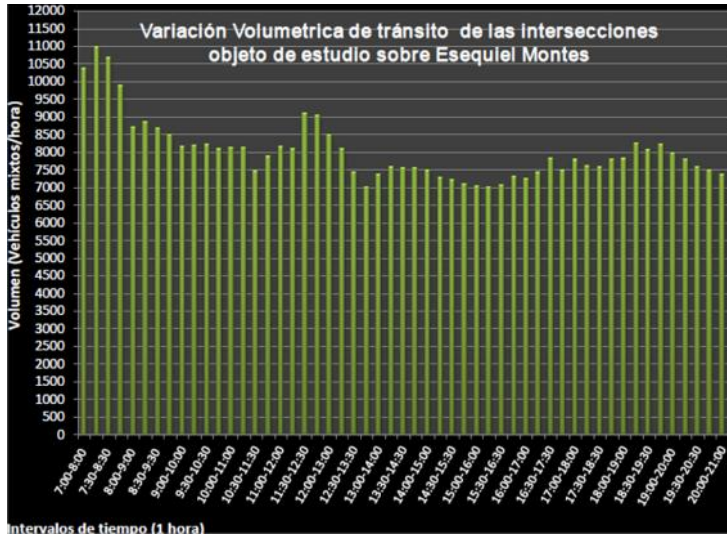


Figura IV.6 Variación volumétrica sobre Ezequiel Montes (Ramírez, 2012)

Tabla IV.1: Aforos y desaforos (Ramírez, 2012)

Hora	frente	Izquierda	derecha	Retorno
7:00-8:00	476	244		
7:15-8:15	597	345		
7:30-8:30	576	360		
7:45-8:45	534	366		
8:00-9:00	527	355		
8:15-9:15	387	270		
8:30-9:30	375	260		
8:45-9:45	372	262		
9:00-10:00	338	244		
9:15-10:15	337	230		
9:30-10:30	351	214		
9:45-10:45	344	197		
10:00-11:00	345	189		
10:15-11:15	336	192		
10:30-11:30	344	202		
10:45-11:45	355	200		
11:00-12:00	353	219		
11:15-12:15	354	229		
11:30-12:30	346	255		
11:45-12:45	320	261		
12:00-13:00	314	275		

12:15-13:15	313	273		
12:30-13:30	309	251		
12:45-13:45	339	271		
13:00-14:00	333	248		
13:15-14:15	328	256		
13:30-14:30	319	252		
13:45-14:45	325	246		
14:00-15:00	343	259		
14:15-15:15	347	254		
14:30-15:30	354	265		
14:45-15:45	340	263		
15:00-16:00	330	262		
15:15-16:15	336	267		
15:30-16:30	333	282		
15:45-16:45	324	281		
16:00-17:00	320	281		
16:15-17:15	302	291		
16:30-17:30	277	298		
16:45-17:45	256	293		
17:00-18:00	252	291		
17:15-18:15	300	275		
17:30-18:30	351	299		
17:45-18:45	358	304		
18:00-19:00	343	305		
18:15-19:15	314	294		
18:30-19:30	273	252		
18:45-19:45	267	245		
19:00-20:00	264	244		

Con la finalidad de poder simular el tránsito de los diferentes modelos de vehículos existentes en la vialidades de Avenida Tecnológico y Ezequiel Montes, se procedió a crear seis grupos de vehículos base (auto [2 ejes y 4 ruedas, A2], pick up mediana [2 ejes y cuatro ruedas, A2], pick up grande [2 ejes y cuatro ruedas, A2], tipo blazer- expedition [2 ejes y 4 ruedas, A2], camión de carga [2 ejes y 6 ruedas, C2] y autobús urbano [2 ejes y 6 ruedas, B2]), de los cuales fue necesario conocer sus dimensiones (largo, ancho, alto, y distancia entre ejes), potencia (hp, rpm), torque (lb-ft, rpm) y la aceleración (0-100 km/h) características que fueron recabadas de las paginas oficiales de cada una de las empresas fabricantes de los diferentes modelos. En esta dirección, debido a que se tenían varias características de cada grupo, se obtuvo mediante

estadística descriptiva las medias, desviaciones estándar, fronteras de aceptación, entre otros de cada grupo para así tener un modelo representativo y poder usarlo en la microsimulación con las propiedades representativas de todo el conjunto (Ramírez Enrique, 2012).

En el apartado de las emisiones contaminantes se muestran las emisiones contaminantes generadas por el parque vehicular entre las que destacan las emisiones de CO (monóxido de carbono), CO₂ (dióxido de carbono), NO_x (óxidos de nitrógeno) y VOC (compuestos orgánicos volátiles) y que se presentan en la Tabla IV.2 (Ramírez, 2012).

Tabla IV.2 Emisiones contaminantes por tipo de vehículos (Ramírez, 2012)

Medio de transporte	Arco de estudio	Parámetro medido	Valor actual (los vehículos no respetan señales de no estacionamiento y no existe carril reservado)	Escenario uno: los vehículos no respetan la señal de no estacionamiento y existe carril reservado	Escenario dos: los vehículos respetan señales de no estacionarse y existe carril reservado	Escenario tres: los vehículos respetan zonas de no estacionamiento y no existe carril reservado	Diferencia actual vs escenario uno	Diferencia actual vs escenario dos	Diferencia actual vs escenario tres	Unidad
Auto	En toda la red	Emisión CO (Monóxido de carbono)	0.55	0.58	0.51	0.55	0.03	-0.04	0.00	Kg/min
Pick Up grande			0.05	0.07	0.05	0.06	0.02	0.00	0.01	
Pick Up mediana			0.04	0.05	0.04	0.04	0.01	0.00	0.00	
Expedition			0.08	0.08	0.07	0.07	0.00	-0.01	-0.01	
Autobús			0.06	0.06	0.05	0.06	0.00	-0.01	0.00	
Auto	En toda la red	Emisión IEM CO ₂ (Dióxido de carbono)	8.15	8.47	7.58	8.10	0.32	-0.57	-0.05	Kg/min
Pick Up grande			0.80	0.98	0.78	0.94	0.18	-0.02	0.14	
Pick Up mediana			0.66	0.69	0.56	0.65	0.03	-0.10	-0.01	
Expedition			1.21	1.19	1.11	1.10	-0.02	-0.10	-0.11	
Autobús			3.98	3.70	3.44	3.82	-0.28	-0.54	-0.16	
Auto	En toda la red	Emisión IEM NO _x (Óxidos de nitrógeno)	0.29	0.30	0.27	0.29	0.01	-0.02	0.00	Kg/hr
Pick Up grande			0.03	0.03	0.03	0.03	0.00	0.00	0.00	
Pick Up mediana			0.02	0.03	0.02	0.02	0.01	0.00	0.00	
Expedition			0.04	0.04	0.04	0.04	0.00	0.00	0.00	
Autobús			1.76	1.74	1.64	1.75	-0.02	-0.12	-0.01	
Auto	En toda la red	Emisión IEM VOC (Compuestos orgánicos volátiles)	1.35	1.42	1.21	1.36	0.07	-0.14	0.01	Kg/hr
Pick Up grande			0.13	0.16	0.12	0.15	0.03	-0.01	0.02	
Pick Up mediana			0.11	0.12	0.09	0.11	0.01	-0.02	0.00	
Expedition			0.19	0.19	0.18	0.18	0.00	-0.01	-0.01	
Autobús			0.13	0.13	0.13	0.13	0.00	0.00	0.00	

En la siguiente figura podemos ver las distribuciones durante la hora de máxima demanda de emisiones de monóxido de carbono por tipo de automóvil.

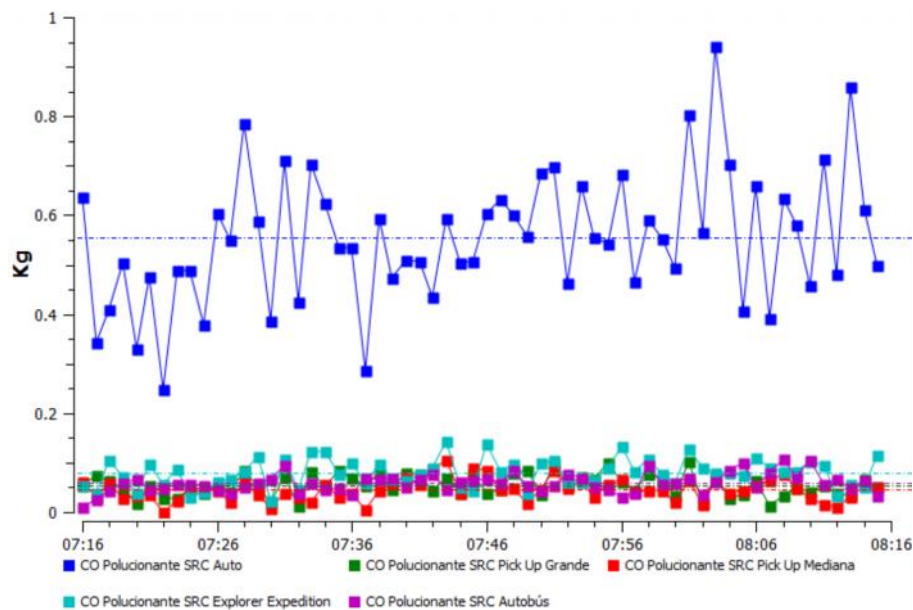


Figura IV.7: Distribución temporal de emisiones de monóxido de carbono (Ramírez Enrique, 2012)

Una vez procesados todos estos datos por AIMSUN y convertidos a Mg/m3 obtenemos cuatro datos resumidos de las emisiones totales promedio de Monóxido de Carbono durante la hora de máxima demanda:

Hora	Mg/m3 simulado
7:15-7:30	2.46406053
7:30-7:45	2.764186633
7:45-8:00	3.016393443
8:00-8:15	3.755359395

IV.2 El experimento

Para la comparación, se tomaron datos continuos durante una hora en la hora de máxima demanda, debido a que es una intersección se tomaron lecturas durante 15 minutos en cada esquina de la misma debido a la peligrosidad de tomar la medición en medio de la calle, la “ruta” generada se muestra a continuación



Figura IV.8 Puntos de toma de mediciones en la intersección

Los datos resultantes de esta medición se leen mediante un *script* de código m en Matlab y generan la siguiente gráfica:

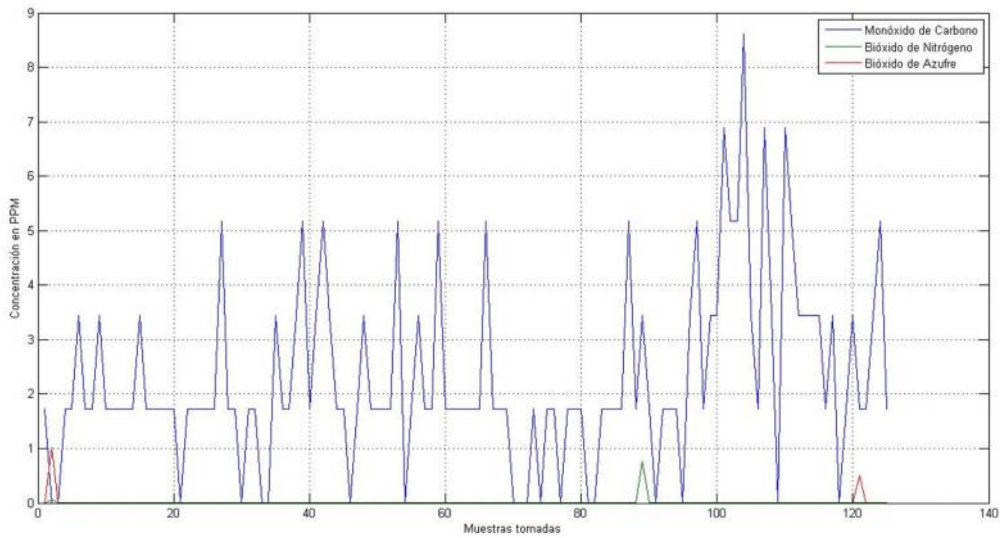


Figura IV.9. Gráfica de datos experimentales

Debido a que los datos se tomaron cada 30 segundos, se obtienen 120 datos por gas para una hora de muestreo, la simulación nos arrojó datos cada 15 minutos por lo tanto se calculan los promedios para estos lapsos de tiempo para igualar a lo dado por la simulación contenida en la fuente provista.

Tabla IV.3. Promedios por cuarto de hora

Hora	Valor
7:15 – 7:30	1.7786667 ppm
7:30 – 7:45	2.2966667 ppm
7:45 – 8:00	1.6063333 ppm
8:00 – 8:15	3.3333333 ppm

Los datos como ya lo vimos anteriormente se obtienen y se guardan en ppm, pero como ya se estipuló en el resumen de la simulación los datos arrojados están dados en Mg/m³ por lo tanto se convierten las unidades mediante la siguiente formula:

Dónde:

N ppm	Cantidad de ppm medidas.	Cantidades dadas por lapso de 15 minutos.
M	Masa molecular del gas a convertir.	28.01 g/mol
R	Constante universal de los gases ideales.	0.08205746 atm · L / (mol · K)
T^a	Temperatura ambiente °K.	273+20=293°K
P	Presión dada en atmosferas.	1 atm

Aplicando la formula obtenemos los promedios en mg/m³:

Tabla IV.4 Promedios en Mg/m³

Hora	Promedios en mg/m ³
7:15 – 7:30	2.07286551
7:30 – 7:45	2.67654489
7:45 – 8:00	1.87202752
8:00 – 8:15	3.88464164

IV.3 La correlación.

Para observar la relación de los datos se usa el software de estadística Minitab, para realizar la prueba de t-pareada y comprobar las hipótesis siguientes.

Hipótesis nula H₀= las muestras son iguales.

Hipótesis alternativa H₁ = las muestras son diferentes.

Prueba T e IC de dos muestras: Medido, Simulado

T de dos muestras para Medido vs. Simulado

	N	Media	Desv.Est.	Media del Error estándar
Medido	4	2.627	0.906	0.45
Simulado	4	3.000	0.552	0.28

Diferencia = μ (Medido) - μ (Simulado)
 Estimado de la diferencia: -0.373
 IC de 95% para la diferencia: (-1.846, 1.099)
 Prueba T de diferencia = 0 (vs. no =): Valor T = -0.70 Valor P = 0.520 GL = 4

Según lo que nos arroja la prueba t, de dos muestras, realizada en Minitab, el valor p de la prueba = 0.520 es mayor que $\alpha=0.05$ por lo tanto no hay evidencia suficiente para rechazar H_0 .

Esto significa que no se rechaza (por definición nunca se acepta una hipótesis, simplemente “no se rechaza”) que las dos muestras “simulado” y “medido” son iguales dentro del intervalo de confianza del 95%.

Por lo tanto el dispositivo construido queda validado para las emisiones de Monóxido de carbono de acuerdo con la simulación de referencia.

IV.4 Conclusiones y trabajo futuro

Al comparar los datos de la micro-simulación con los datos obtenidos en el campo, se obtiene una confiabilidad dentro del 95% del intervalo de confianza calculado mediante el software de estadística Minitab.

Este sistema debe verse como un primer esfuerzo en el acercamiento a la medición de la calidad del aire en una ciudad en expansión como lo es Querétaro. Aunque se tienen equipos de medición de la calidad del aire en la ciudad son pocos y muy puntuales, este trabajo se encargó de demostrar el concepto de que es posible medir lo que respira el ciudadano común a nivel “suelo”, estos datos pueden ser útiles para la planificación de paradas de camión o incluso influir en la cantidad de rutas de transporte que pasa por ejemplo frente a una escuela o bien la

necesidad de ampliación de calles y otras estructuras viales basados en la concentración de contaminantes.

La situación de Querétaro en cuanto a contaminación es interesante ya que es una ciudad en expansión en el siglo XXI, esto significa que tenemos herramientas que no existían cuando se comenzó a sobre poblar la ciudad de México, el Distrito Federal y otras grandes ciudades de México. Este sistema tiene el potencial de ser una de estas herramientas, gracias a su movilidad, precio y facilidad de diseminación en el campo.

El sistema respondió de manera adecuada durante las pruebas en campo sin embargo y atendiendo a algunas observaciones de los sinodales del presente trabajo se hacen las siguientes observaciones en la forma de trabajo futuro:

1. En la simulación usada en el proceso de comparación con las mediciones en campo se estipula: “De manera descendente tenemos que la mayor contaminación generada en la red es el dióxido de carbono (CO₂), seguida del monóxido de carbono (CO), después los hidrocarburos (HC), posteriormente los compuestos orgánicos volátiles (VOC) y finalmente los óxidos de nitrógeno (NO_x) (Ramírez2, 2012)”. Esto repercute en la selección de los sensores los cuales fueron, Monóxido de Carbono, Bióxido de Azufre y Bióxido de Nitrógeno, estos sensores se escogieron por su peligrosidad para el ser humano o bien por ser precursores del fenómeno de la lluvia acida. Para el trabajo futuro se propone implementar el sistema con sensores de hidrocarburos y compuestos orgánicos, atendiendo a que la población se vería más expuesta a estos compuestos.
2. Los sensores tienen la desventaja de tener una calibración fija dada por el fabricante, para una implementación posterior podría ser posible usar sensores que incorporen una terminal de ajuste, esto hace posible tener un ajuste más fino en cuanto a sensibilidad lo cual ayudaría en las mediciones y certeza del dispositivo.
3. Es claro que una participación interdisciplinar es necesaria para llevar a buen término una implementación de este sistema. Debido a que este sistema no tiene un símil comercial, es posible tener más simulaciones como la que se usó en este

trabajo y comparar mediciones con simulaciones para el ajuste fino y observar más a fondo las bondades o bien los problemas que podría tener este sistema en su implementación masiva.

BIBLIOGRAFÍA

Allsop Richard E. (2008). **Transport networks and their use: how real can modelling get?** Philos Transact A Math Phys Eng Sci. 2008 Jun 13;366(1872):1879-92. doi: 10.1098/rsta.2008.0013.

A. R. Al-Ali, Imran Zuolkernan, and Fadi Aloul (2010). **A Mobile GPRS-Sensors Array for Air Pollution Monitoring.** IEEE SENSORS JOURNAL, VOL. 10, NO. 10. Pp 1666 - 1671

Ammar Mahjoubi, Ridha Fethi Mechlouch and Ammar Ben Brahim (2011). **A Low Cost Wireless Data Acquisition System for a Remote Photovoltaic (PV) Water Pumping System.** Energies 2011, 4, 68-89; doi:10.3390/en4010068

Alexandre Viejo et al (2007). **Comunicaciones Privadas en Redes Ad-hoc Vehiculares.** Cátedra UNESCO de Privacidad de Datos

Bagula A., Zennaro M., Inggs G., Scott S., Gascon D. **Ubiquitous Sensor Networking for Development (USN4D): An Application to Pollution Monitoring.** Sensors. 2012; 12(1):391-414.

Boquete, L.; Rodríguez-Ascariz, J.; Barea, R.; Cantos, J.; Miguel-Jiménez, J.; Ortega, S. **Data Acquisition, Analysis and Transmission Platform for a Pay-As-You-Drive System.** Sensors 2010, 10(6), 5395-5408; doi:10.3390/s100605395.

Catálogo de airpointer. PDF, URL: http://www.groco.is/groco/upload/files/pdf/2009/airpointer_brochu++ (Fecha de consulta: 28 de marzo de 2012).

Cheng F. Lee, et al (2007). **Identification of Regional Air Pollution Characteristic and the Correlation with Public Health in Taiwan.** International Journal of Environmental Research and Public Health, vol 4, no 2, pp 106-110.

CVIS Project, página de internet: <http://www.cvisproject.org/>. (Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2012)

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (2007). Climate Change 2007 - Mitigation. Cambridge, Cambridge University Press. URL: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg3/ar4_wg3_full_report.pdf

Jago Dodson, Paul Mees, John Stone and Matthew Burke (2011). **The principles of public transport network planning: A review of the emerging literature with select examples**. Griffith University URL: http://www.griffith.edu.au/__data/assets/pdf_file/0005/281552/ip15-dodson-et-al-2011.pdf.

Ershen Wang, et al (2010), **Research on the Incomplete Constellation GPS Positioning Algorithm Aided by Altitude, International Conference**, pp.2974-2977.

Google developers: Tutorial de KML URL: https://developers.google.com/kml/documentation/kml_tut?hl=es

H. Moustafa, S.M Senouci, M. Jerbi, "Introduction to Vehicular Networks", **Book Title: "Vehicular Networks: Techniques, Standards and Applications"**, Publisher: Auerbach Publications – CRC Press (Taylor & Francis Group), July 2008.

José Alberto Rosales-Castillo, QFB, M en C et al (2001). **Los efectos agudos de la contaminación del aire en la salud de la población: evidencias de estudios epidemiológicos**. Salud pública de México, Vol. 43, no.6. México.

Jung Y.J., Lee Y.K., Lee D.G., Lee Y., Nittel S., Beard K., Nam K.W., Ryu K.H. **Design of Sensor Data Processing Steps in an Air Pollution Monitoring System**. Sensors. 2011; 11(12):11235-11250.

Lyidir, B. and Ozkazanc, Y. (2004) **Jamming of GPS receivers, Signal Processing and Communications Applications Conference**. Proceedings of the IEEE, vol. 9, pp.747- 750.

Microchip 16F24j11 Device description URL:
http://www.microchip.com/wwwproducts/Devices.aspx?dDocName=en533683 (Fecha de
consulta: noviembre 2012).

NMEA0183, 2011 URL: <http://www.tronico.fi/OH6NT/docs/NMEA0183.pdf> (fecha de consulta
noviembre de 2011).

Morteza Vahedpour and Fatemeh Zolfaghari (2011) **Mechanistic study on the atmospheric formation of acid rain base on the sulfur dioxide**, Springer Science+Bussines Media, Original Research, Zanzan, Irán.

Página de la secretaría del medio ambiente. <http://www.sma.df.gob.mx/> (Fecha de consulta: 24 de octubre de 2011).

Ramirez T. Enrique. **“Comparacion de la interacción vehicular inducida por el empleo de carriles preferenciales para el transporte público utilizando microsimulación de tráfico”**. Tesis de Grado, Universidad Autonoma de queretaro, septiembre 2012.

R. Meraihi, SM. Senouci, D. Meddour et M. Jerbi, **"Wireless Ad Hoc and Sensor Networks", Chapter 12: "Vehicle-to-vehicle communications: applications and perspectives"**, ISTE Ltd (Hermès Science Publications / Lavoisier Company), ISBN: 9781905209866, pp. 285-305, January 2008.

Radi M., Dezfouli B., Bakar K.A., Lee M. **Multipath Routing in Wireless Sensor Networks: Survey and Research Challenges**. Sensors. 2012; 12(1):650-685.

Silva, J. M. and Olsen, R. G. **“Use of Global Positioning System (GPS) Receivers under Power Line Conductors,”** Power Engineering Review, IEEE, vol.22, no.7, pp.62.

Tomas Nezel, **“Investigation and development of selective polymeric liquid membranes for the optical detection of NO2 with chemical sensors”**, dissertation submitted to the Swiss Federal Institute of technology Zurich, 2002,

SIM18_Hardware Design_VV1.00, 2011, URL:
http://www.svtehs.com/simcom/sim18_hardware%20design_v1.00.pdf

Sukwon, Choi et al. (2009) “**Micro Sensor Node for Air Pollutant Monitoring: Hardware and Software Issues.**” Sensors journal, vol 9, 7970-7987 Seoul, Korea.

Winsensor 2012, ME3-CO brochure URL:
<http://www.winsensor.com/English/product/ProductsList/094709201126.shtml>

Winsensor 2012, ME3-NO2 brochure URL:
<http://www.winsensor.com/English/product/ProductsList/093711201126.shtml>

Winsensor 2012, ME3-SO2 brochure URL:
<http://www.winsensor.com/English/product/ProductsList/092611201126.shtml>

Yajie Ma, et al (2008). “**Air Pollution Monitoring and Mining Based on Sensor Grid in London**”, sensors journal, no 8 pp 3601-3623.

V APÉNDICES

V.1 Software embebido RTU.

```
#include <16f877A.h>
#device ADC=10
#use delay(clock=2000000) //Base de tiempo para retardos (20 MHz)
#include <stdlib.h>
#include <math.h>
#include <lcd.c>
////////////////////////////////////
// D0 enable
// D1 rs
```

```

// D2 rw
// D4 D4
// D5 D5
// D6 D6
// D7 D7
////////////////////////////////////
#fuses HS,WDT,NOPROTECT,PUT,NOLVP,NOBROWNOUT

#use rs232(baud = 4800,XMIT=PIN_C6,RCV=PIN_C7,BITS=8,PARITY=N,ERRORS) //Comunicación serial
#use fast_io (c)
#use fast_io (b)
#use fast_io (d)

#define ctrlz 26; //combinacion de teclas "ctrl+z"
int i=0,flag=0,ind=0,sflag=0,utc_sec_i,utc_hh_i,utc_mm_i,flag_t=0;
int16 co,no,so;
float gla,m1a,sla,lat,glo,mlo,slo,lon,cof,nof,sof;
char c,str[72],send[50],grala[5],minla[5],secla[10],gralo[5],minlo[5],seclo[10],utc_sec[4],utc_hh[4],utc_mm[4];

#zero_ram

void main(void){
  set_tris_a(0b00000111);
  set_tris_c(0b10000000);
  set_tris_b(0x00);
  set_tris_d(0x00);
  lcd_init();
  setup_adc_ports( AN0_AN1_AN2_AN4_VSS_VREF );
  setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
  delay_ms(100);
  output_b(0x00);
  output_d(0x00);

  setup_wdt(WDT_2304MS);
  lcd_gotoxy(1,1);
  printf(LCD_PUTC, "Waiting...");

  while(true){
    restart_wdt();
    output_bit(PIN_B0,0);
    output_bit(PIN_B1,0);
    output_b(0x00);
    if(kbhit()){// esperar cualquier caracter en el buffer de entrada
      c=getch();
      //putc(c);
      flag=0;
    }
  }
}

```

```

ind=0;
if(c=='$'&&flag==0){//encontrar el inicio de cualquier sentencia NMEA

str[ind]=c;
ind++;
do{
if(kbhit()){
c=getch();
//putc(c);
str[ind]=c;
if(c=='*'){ //encontrar el checksum para cortar la cadena analizada
flag=1;
}
else
ind++;
}
}while(flag==0);
}
//evaluar si la cadena encontrada es la que se necesita
if(str[0]=='$'&&str[1]=='G'&&str[2]=='P'&&str[3]=='G'&&str[4]=='G'&&str[5]=='A'){
sflag=0;
output_bit(PIN_B1,1);
if(ind>37){
utc_sec[0]=str[11];
utc_sec[1]=str[12];
utc_sec[2]='\0';
utc_sec_i=atoi(utc_sec);
utc_hh[0]=str[7];
utc_hh[1]=str[8];
utc_hh[2]='\0';
utc_hh_i=atoi(utc_hh);
utc_mm[0]=str[9];
utc_mm[1]=str[10];
utc_mm[2]='\0';
utc_mm_i=atoi(utc_mm);

//determinar si es tiempo de generar una nueva sentencia de datos
if(utc_sec_i>0&&utc_sec_i<3&&flag_t==0){
flag_t=1;
}
else if(utc_sec_i>30&&utc_sec_i<33&&flag_t==0){
flag_t=1;
}
else{
flag_t=0;
}
}
}

```

```
if(ind>37&&flag_t==1){// evaluar la longitud de la cadena para establecer si se está conectado
//extraer los caracteres GPS de la cadena.
setup_uart(0);
setup_uart(9600);//cambio de velocidad para comunicación con modem
setup_uart(1);
restart_wdt();
output_bit(PIN_B0,1);

setup_uart(9600);
grala[0]=str[18];
grala[1]=str[19];
grala[2]='\0';

minla[0]=str[20];
minla[1]=str[21];
minla[2]='\0';

secla[0]='\0';
secla[1]=str[22];
secla[2]=str[23];
secla[3]=str[24];
secla[4]=str[25];
secla[5]=str[26];
secla[6]='\0';

gralo[0]=str[30];
gralo[1]=str[31];
gralo[2]=str[32];
gralo[3]='\0';

minlo[0]=str[33];
minlo[1]=str[34];
minlo[2]='\0';

seclo[0]='\0';
seclo[1]=str[35];
seclo[2]=str[36];
seclo[3]=str[37];
seclo[4]=str[38];
seclo[5]=str[39];
seclo[6]='\0';
// convertir caracteres en números de punto flotante y cálculo de
// coordenadas para archivos KML

gla=atof(grala);
```

```

mla=atof(minla);
sla=atof(secla);
lat=gl+ (mla/60.0)+(sla/60.0);

glo=atof(gralo);
mlo=atof(minlo);
slo=atof(seclo);
lon=glo+(mlo/60.0)+(slo/60.0);
send="";
//latitud, longitud

//lectura de los sensores, conversión y protocolización
set_adc_channel(0);
delay_us(20);
co=read_adc();
cof=(3.0*co)/1023.0;

set_adc_channel(1);
delay_us(20);
no=read_adc();
nof=(3.0*no)/1023.0;

set_adc_channel(2);
delay_us(20);
so=read_adc();
sof=(3.0*so)/1023.0;
send="";
//latitud, longitud, monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno, bióxido de azufre, hora, minuto, segundo
sprintf(send, "$A%.5f,B%.5f,C%.3f,D%.3f,E%.3f,F%d,G%d,H%d,#n", lat,lon,cof,nof,sof,utc_hh_i,utc_mm_i,utc_sec_i);
puts(send);

printf("at+cmgs=\\"0444421308308\\"r",NUMERO);
delay_ms(200);
printf("%s",send);
delay_ms(200);
printf("%c",ctrlz); //se envía el mensaje
delay_ms(200);

lcd_gotoxy(1,1);
printf(LCD_PUTC, "LAT: %0.5f",lat);
lcd_gotoxy(1,2);
printf(LCD_PUTC, "LON: %0.5f ",lon);

for(i=0;i<72;i++){
    str[i]=0x00;
}

```

```
    setup_uart(0);
    setup_uart(4800);
    setup_uart(1);

}
}

}

}
}
```

V.2 Software del Servidor.

```
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include "Main.h"
#include <math.h>
#include <stdio.h>
#include <share.h>
#include <conio.h>
#include <dos.h>

//-----

#pragma package(smart_init)
#pragma link "CSPIN"
#pragma resource "*.dfm"

//-----

FILE *ptrMonit;

TMainForm *MainForm;

int i=0,ind=0,rdy=0,index=0,lat_flag=0,lon_flag=0,co_flag=0,no_flag=0,so_flag=0,hh_flag=0,mm_flag=0;

char sa=0,as=0,vf,string[100],lat[100],lon[100],co[100],no[100],so[100],hh[100],mm[100];

unsigned char flagcom=0,flagfile=0; //de 8 bits
```

```
unsigned int data_n=0;
```

```
//-----
```

```
void ProcessByte(BYTE byte)
```

```
{
```

```
if(flagcom!=0)
```

```
    flagcom++;
```

```
if((byte=='$')&&(flagcom==0))
```

```
{
```

```
    flagcom=1;
```

```
    string[0]='$';
```

```
}
```

```
if(flagcom>1)
```

```
{
```

```
    string[flagcom-1]=byte;
```

```
    if(byte=='#'){
```

```
        string[flagcom]=NULL;
```

```
        rdy=1;
```

```
    }
```

```
}
```

```
if(rdy==1)
```

```
{
```

```
    data_n++;
```

```
    index=0;
```

```
    lat_flag=0;
```

```
    lon_flag=0;
```

```
    co_flag=0;
```

```
    no_flag=0;
```

```
    so_flag=0;
```

```
    hh_flag=0;
```

```
    mm_flag=0;
```

```
64
```

```
do{
if(string[index]=='A'){
    index++;
    do{
        lat[lat_flag]=string[index];
        index++;
        lat_flag++;
    }while(string[index]!='');
    lat[index]=NULL;
}
if(string[index]=='B'){
    index++;
    do{
        lon[lon_flag]=string[index];
        index++;
        lon_flag++;
    }while(string[index]!='');
    lon[index]=NULL;
}
if(string[index]=='C'){
    index++;
    do{
        co[co_flag]=string[index];
        index++;
        co_flag++;
    }while(string[index]!='');
    co[index]=NULL;
}
if(string[index]=='D'){
    index++;
    do{
        no[no_flag]=string[index];
```

```
    index++;
    no_flag++;
    }while(string[index]!='.');
```

```
no[index]=NULL;
}
if(string[index]=='E'){
    index++;
    do{
        so[so_flag]=string[index];
        index++;
        so_flag++;
    }while(string[index]!='.');
```

```
so[index]=NULL;
}
if(string[index]=='F'){
    index++;
    do{
        hh[hh_flag]=string[index];
        index++;
        hh_flag++;
    }while(string[index]!='.');
```

```
hh[index]=NULL;
}
if(string[index]=='G'){
    index++;
    do{
        mm[mm_flag]=string[index];
        index++;
        mm_flag++;
    }while(string[index]!='.');
```

```
mm[index]=NULL;
}
```

```

    index++;
} while(string[index]!=NULL);

MainForm->Edit1->Text = string;

MainForm->Edit2->Text = lat;

MainForm->Edit3->Text = lon;

MainForm->Edit4->Text = co;

MainForm->Edit6->Text = no;

MainForm->Edit7->Text = so;

MainForm->Edit8->Text = hh;

MainForm->Edit9->Text = mm;

MainForm->Edit10->Text =IntToStr(data_n);

MainForm->Edit5->Text = IntToStr(data_n);

for(int k=0;k<=flagcom;k++){
    string[k]=NULL;
}

flagcom=0;

rdy=0;

/*abrir/crear un archivo*/

if(flagfile==0){

    if((ptrMonit=fopen("MONIT.KML", "w"))==NULL){ }

    fprintf(ptrMonit,"<?xml version=\\"1.0\\" encoding=\\"UTF-8\\"?>\n");

    fprintf(ptrMonit,"<kml xmlns=\\"http://www.opengis.net/kml/2.2\\">\n");

    fprintf(ptrMonit,"<Folder>\n");

}

flagfile=1;

fprintf(ptrMonit,"<Placemark id=\\"pin %d\\">\n",data_n);

fprintf(ptrMonit,"    <name>Lectura: %d Hora: %s:%s</name>\n",data_n,hh,mm);

    fprintf(ptrMonit,"    <description>Monoxido de Carbono: %s \nBioxido de Nitrogeno: %s \nBioxido de Azufre: %s
\n</description>\n",co,no,so);

```

```

fprintf(ptrMonit, "<Point>\n");
fprintf(ptrMonit, " <coordinates>-%s,%s</coordinates>\n",lon,lat);
fprintf(ptrMonit, "</Point>\n");
fprintf(ptrMonit, "</Placemark>\n");
}
}
//-----
__fastcall TMainForm::TMainForm(TComponent* Owner)
: TForm(Owner), SerialPort(1, ProcessByte), fAcknowledge(true)
{
if (SerialPort.IsReady() != TRUE)
    MessageBox(NULL, "Problemas con el puerto", "Error", MB_OK);
}
//-----
void TMainForm::send_byte(unsigned char byte_sal, unsigned char byte_sal2)
{
if (fAcknowledge == false)
    return;
SerialPort.WriteByte(byte_sal);
SerialPort.WriteByte(byte_sal2);
fAcknowledge = false;
}
//-----
void TMainForm::Acknowledge()
{
fAcknowledge = true;
}
void __fastcall TMainForm::Button1Click(TObject *Sender)
{
/* close the file */
fprintf(ptrMonit, "</Folder>\n");
fprintf(ptrMonit, "</kml>\n");

```

```
fclose(ptrMonit);
```

```
Close();
```

```
}
```

```
//-----
```